

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 11-220220
(43)Date of publication of application : 10.08.1999

(51)Int.Cl.

H01S 3/18

(21)Application number : 10-330066

(71)Applicant : MATSUSHITA ELECTRIC IND CO LTD

(22)Date of filing : 19.11.1998

(72)Inventor : KITO MASAHIRO
OTSUKA NOBUYUKI
ISHINO MASATO
MATSUI YASUSHI
INABA YUICHI

(30)Priority

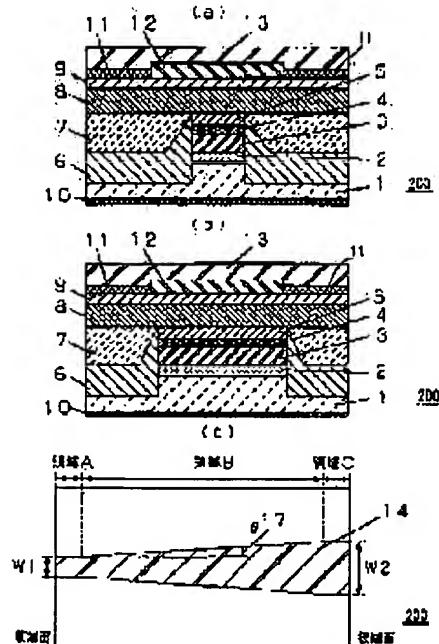
Priority number : 07342838 Priority date : 28.12.1995 Priority country : JP
08241732 12.09.1996 JP

(54) SEMICONDUCTOR LASER AND MANUFACTURE THEREOF

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide (1) a semiconductor laser, which has a low-threshold current and high slope efficiency characteristic and has a narrow output angle, (2) a method of manufacturing the laser and an optical communication system, (3) which comprises a semiconductor laser such as described in (1), (2) as the light source.

SOLUTION: A semiconductor laser is constituted into a structure, wherein the laser is provided with a substrate 1 and a multilayered structure formed on the substrate 1, the multilayered structure comprises an optical waveguide region having at least an active layer 3 and an embedded layer 8 for filling the periphery of the optical waveguide region, the optical waveguide region is formed into a stripe form with respect to a resonator length direction, the stripe width of the optical waveguide region is formed so that the relation between a width W1 in the front end surface of the optical waveguide region and a width W2 in the back end surface of the optical waveguide region satisfies the condition $W1 < W2$ and the stripe width is continuously changed between the widths W1 and W2 in the resonator length direction to generate a laser beam with a very narrow spread angle. The stripe width of the optical waveguide region is changed linearly in the resonator length direction, and the slope of the change is about 0.14 degrees or narrower with respect to the resonator length direction.



(19)日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平11-220220

(43)公開日 平成11年(1999)8月10日

(51)Int.Cl.⁶

H 01 S 3/18

識別記号

6 6 5

F I

H 01 S 3/18

6 6 5

審査請求 有 請求項の数 6 O L (全 24 頁)

(21)出願番号 特願平10-330066
(62)分割の表示 特願平9-524190の分割
(22)出願日 平成8年(1996)12月26日

(31)優先権主張番号 特願平7-342838
(32)優先日 平7(1995)12月28日
(33)優先権主張国 日本 (JP)

(31)優先権主張番号 特願平8-241732
(32)優先日 平8(1996)9月12日
(33)優先権主張国 日本 (JP)

(71)出願人 000005821
松下電器産業株式会社
大阪府門真市大字門真1006番地
(72)発明者 鬼頭 雅弘
大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器
産業株式会社内
(72)発明者 大塚 信之
大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器
産業株式会社内
(72)発明者 石野 正人
大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器
産業株式会社内
(74)代理人 弁理士 山本 秀策

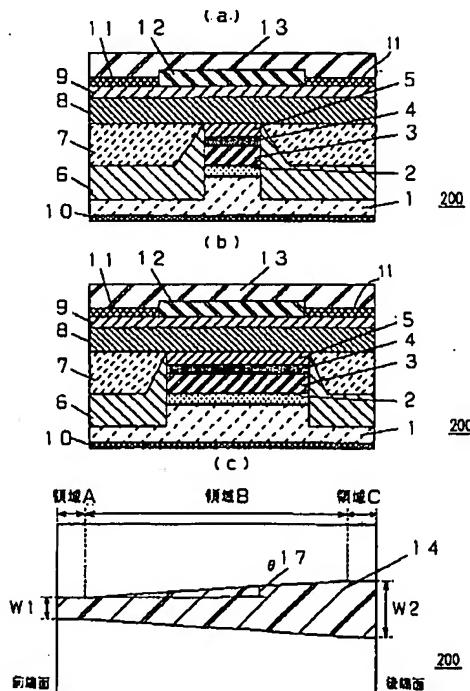
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 半導体レーザ装置及びその製造方法

(57)【要約】

【課題】 (1)低しきい値電流及び高スロープ効率特性を有し、且つ出射角が狭い半導体レーザ装置、(2)その製造方法、及び(3)上記のような半導体レーザ装置を光源として含む光通信システムを提供する。

【解決手段】 半導体レーザ装置が、基板と、該基板上に形成された多層構造と、を備えた半導体レーザ装置であって、該多層構造は、少なくとも活性層を有する光導波領域と、該光導波領域の周囲を埋め込む埋め込み層と、を含み、該光導波領域は共振器長方向に対してストライプ状に形成されており、該光導波領域のストライプ幅は、前端面における幅W1と後端面における幅W2とがW1 < W2なる関係を満たし、該ストライプ幅は、該共振器長方向に対して該幅W1と該幅W2との間で連続的に変化して、広がり角が非常に狭いレーザ光を発生させる、半導体レーザ装置であって、該光導波領域の該ストライプ幅は該共振器長方向に直線的に変化し、且つその変化の傾きが該共振器長方向に対して約0.14度以下である。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 基板と、該基板上に形成された多層構造と、を備えた半導体レーザ装置であって、

該多層構造は、少なくとも活性層を有する光導波領域と、該光導波領域の周囲を埋め込む埋め込み層と、を含み、該光導波領域は共振器長方向に対してストライプ状に形成されており、

該光導波領域のストライプ幅は、前端面における幅W1と後端面における幅W2とがW1 < W2なる関係を満たし、

該ストライプ幅は、該共振器長方向に対して該幅W1と該W2との間で連続的に変化して、広がり角が非常に狭いレーザ光を発生させる、半導体レーザ装置であって、該光導波領域の該ストライプ幅は該共振器長方向に直線的に変化し、且つその変化の傾きが該共振器長方向に対して約0.14度以下である、半導体レーザ装置。

【請求項2】 基板と、該基板上に形成された多層構造と、を備えた半導体レーザ装置であって、

該多層構造は、少なくとも活性層を有する光導波領域と、該光導波領域の周囲を埋め込む埋め込み層と、を含み、該光導波領域は共振器長方向に対してストライプ状に形成されており、

該光導波領域のストライプ幅は、前端面における幅W1と後端面における幅W2とがW1 < W2なる関係を満たし、

該ストライプ幅は、該共振器長方向に対して該幅W1と該W2との間で連続的に変化して、広がり角が非常に狭いレーザ光を発生させる、半導体レーザ装置であって、該光導波領域の平均屈折率n1と該埋め込み層の屈折率n2とが、(n1 - n2) < 0.2なる関係を満たす、半導体レーザ装置。

【請求項3】 基板と、該基板上に形成された多層構造と、を備えた半導体レーザ装置であって、

該多層構造は、少なくとも活性層を有する光導波領域と、該光導波領域の周囲を埋め込む埋め込み層と、を含み、該光導波領域は共振器長方向に対してストライプ状に形成されており、

該光導波領域のストライプ幅は、前端面における幅W1と後端面における幅W2とがW1 < W2なる関係を満たし、

該ストライプ幅は、該共振器長方向に対して該幅W1と該W2との間で連続的に変化して、広がり角が非常に狭いレーザ光を発生させる、半導体レーザ装置であって、該光導波領域の平均屈折率n1と該埋め込み層の屈折率n2とが、(n1 - n2) < 0.15なる関係を満たす、半導体レーザ装置。

【請求項4】 基板上に、活性層と光閉じ込め層とを有する多層構造を形成する工程と、該多層構造を、ストライプ幅が周期的に増減するストライプ形状に加工する工程と、

該ストライプ形状に加工された該多層構造の両側に埋め込み層を形成する工程と、
該ストライプ形状に加工された該多層構造を、該ストライプ形状のストライプ幅が極小である位置及び極大である位置で、該ストライプ形状の長さ方向に垂直な面に平行に切断する工程と、を包含する、半導体レーザ装置の製造方法。

【請求項5】 前記多層構造を前記ストライプ形状に形成する工程は、該多層構造を、前記ストライプ幅が連続的に増加する第1の領域と、該ストライプ幅が連続的に減少する第2の領域と、該第1の領域と該第2の領域との間に配設されたストライプ幅が一定である領域と、を有する該ストライプ形状に加工することを含む、請求項4に記載の半導体レーザ装置の製造方法。

【請求項6】 前記基板及び前記埋め込み層がInPで形成され、前記活性層及び前記光閉じ込め層がInGaAsPで形成されている、請求項4または5に記載の半導体レーザ装置の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、半導体レーザ装置及びその製造方法に関し、特に、光通信の光源に適した半導体レーザ装置及びその製造方法に関する。また、本発明は、上記のような半導体レーザ装置を光源として含む光通信システムに関する。

【0002】

【従来の技術】半導体レーザから出射された光を光ファイバに結合する際に問題となるのは、半導体レーザと光ファイバとの間の結合効率及び位置合わせ精度である。通常の光通信用半導体レーザの出射角は約20度から約30度と広いため、光ファイバにレーザ光を直接に結合させると、数%という非常に低い結合効率しか実現できない。

【0003】半導体レーザと光ファイバとの間にレンズを挿入すれば、高い結合効率が得られる。しかし、位置合わせ精度は約1μmになり、非常に高い精度で位置合わせをする必要を生じて、コストを上げる要因となっている。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】この問題を解決するために、半導体レーザの出射角を約10度程度に狭くして、光ファイバにレーザ光を直接に結合させる方法が考えられている。この様な狭い出射角を実現する半導体レーザの従来構造の例を、図1(a)に示す(H. Fukano et al., Electron. Lett., vol. 31, pp. 1439-1440, 1995)。

【0005】本構造は、活性層を含むストライプ101(以下では、「ストライプ状活性層101」とも称する)、及びその回りのInP埋め込み層102から構成されている。ストライプ状活性層101は、テーパ領域103及び平行領域104を含んでいる。レーザ光105は、テーパ領域10

3の端面から出射される。

【0006】ストライプ状活性層101の平行領域104からテープ領域103へ伝搬する光は、テープ領域103を伝搬する際に活性層101への光閉じ込めが連続的に減少する。そのために、活性層101から埋め込み層102への光のしみだしが大きくなり、出射端におけるレーザ光105のスポットサイズは、平行領域104におけるスポットサイズよりも拡大される。このようにレーザ光105のスポットサイズが大きくなることは、出射角が狭くなることを意味している。

【0007】上記の従来構造では、ストライプ状活性層101が、幅が一定の平行領域104と幅が連続的に変化しているテープ領域103とに分かれている。この様な構成では、図1(b)に示すようにテープ領域103の長さが比較的長い場合は、ストライプ幅の変化は緩やかで放射モードが出射光パターンに及ぼす影響が小さくなる。そのため、平行領域104からテープ領域103を経て出射されるレーザ光105については、図1(c)に示す様な単峰性の出射光パターンが得られる。しかし、全体の共振器長が長くなるため、半導体レーザの動作特性の観点からは、しきい値電流の増大やスロープ効率の低下などの問題が発生する。また、同一サイズの基板から得られるレーザ素子の個数が少なくなり、1素子当たりの作製コストが高くなる。

【0008】一方、図1(d)に示すようにテープ領域103が短い場合には、全体の共振器長は短くなるが、放射モードが出射光パターンに及ぼす影響が大きくなり、図1(e)に示すように複数のピークを有する出射光パターンとなる。このため、半導体レーザと光ファイバとの間の結合効率が低下する。

【0009】以上の点を考慮すれば、半導体レーザ装置において、しきい値電流やスロープ効率などの動作特性を劣化させることなく、狭い出射角で単峰性の出射光パターンを実現する必要がある。

【0010】本発明は、以上の問題に鑑みてなされたものであって、その目的は、(1)低しきい値電流及び高スロープ効率特性を有し、且つ出射角が狭い半導体レーザ装置を提供すること、(2)その製造方法を提供すること、及び(3)上記のような半導体レーザ装置を光源として含む光通信システムを提供すること、である。

【0011】

【課題を解決するための手段】本発明のある半導体レーザ装置は、基板と、該基板上に形成された多層構造と、を備えた半導体レーザ装置であって、該多層構造は、少なくとも活性層を有する光導波領域と、該光導波領域の周囲を埋め込む埋め込み層と、を含み、該光導波領域は共振器長方向に対してストライプ状に形成されており、該光導波領域のストライプ幅は、前端面における幅W1と後端面における幅W2とがW1<W2なる関係を満たし、該ストライプ幅は、該共振器長方向に対して約0.14度以下であり、そのことにより上記課題が解決される。

1と該W2との間で連続的に変化して、広がり角が非常に狭いレーザ光を発生させる、半導体レーザ装置であって、該光導波領域の該ストライプ幅は該共振器長方向に直線的に変化し、且つその変化の傾きが該共振器長方向に対して約0.14度以下であり、そのことにより上記課題が解決される。

【0012】本発明の更に他の半導体レーザ装置は、基板と、該基板上に形成された多層構造と、を備えた半導体レーザ装置であって、該多層構造は、少なくとも活性層を有する光導波領域と、該光導波領域の周囲を埋め込む埋め込み層と、を含み、該光導波領域は共振器長方向に対してストライプ状に形成されており、該光導波領域のストライプ幅は、前端面における幅W1と後端面における幅W2とがW1<W2なる関係を満たし、該ストライプ幅は、該共振器長方向に対して該幅W1と該W2との間で連続的に変化して、広がり角が非常に狭いレーザ光を発生させる、半導体レーザ装置であって、該光導波領域の平均屈折率n1と該埋め込み層の屈折率n2とが、(n1-n2)<0.2なる関係を満たし、そのことにより上記課題が解決される。

【0013】本発明の更に他の半導体レーザ装置は、基板と、該基板上に形成された多層構造と、を備えた半導体レーザ装置であって、該多層構造は、少なくとも活性層を有する光導波領域と、該光導波領域の周囲を埋め込む埋め込み層と、を含み、該光導波領域は共振器長方向に対してストライプ状に形成されており、該光導波領域のストライプ幅は、前端面における幅W1と後端面における幅W2とがW1<W2なる関係を満たし、該ストライプ幅は、該共振器長方向に対して該幅W1と該W2との間で連続的に変化して、広がり角が非常に狭いレーザ光を発生させる、半導体レーザ装置であって、該光導波領域の平均屈折率n1と該埋め込み層の屈折率n2とが、(n1-n2)<0.15なる関係を満たし、そのことにより上記課題が解決される。

【0014】本発明の別の局面において、本発明の半導体レーザ装置の製造方法は、基板上に、活性層と光閉じ込め層とを有する多層構造を形成する工程と、該多層構造を、ストライプ幅が周期的に増減するストライプ形状に加工する工程と、該ストライプ形状に加工された該多層構造の両側に埋め込み層を形成する工程と、該ストライプ形状に加工された該多層構造を、該ストライプ形状のストライプ幅が極小である位置及び極大である位置で、該ストライプ形状の長さ方向に垂直な面に平行に切断する工程と、を包含し、そのことにより上記課題が解決される。

【0015】上記多層構造を上記ストライプ形状に形成する工程は、該多層構造を、上記ストライプ幅が連続的に増加する第1の領域と、該ストライプ幅が連続的に減少する第2の領域と、該第1の領域と該第2の領域との間に配設されたストライプ幅が一定である領域と、を有

する該ストライプ形状に加工することを含んでもよい。【0016】上記基板及び上記埋め込み層がInPで形成され、上記活性層及び上記光閉じ込め層がInGaAsPで形成されていてもよい。

【0017】

【発明の実施の形態】上記した従来技術における課題は、図2(a)～(c)を参照して以下に説明するように、レーザ光を発生するストライプ状活性層の幅を共振器のほぼ全体に渡って連続的に変化させ、レーザ光を取り出す前面における活性層の幅をW1、及びその反対側の後面における活性層の幅をW2としたときに、W2>W1なる関係を満たすことによって解決する。上記の関係が成立する場合、半導体レーザの前端面においては、活性層の幅が狭く、光が活性層以外に広がるために、光強度分布の広がりは大きい。一方、半導体レーザの後端面においては、活性層の幅が広く、光が活性層の内部に閉じ込められるために、光強度分布の広がりは小さい。

【0018】図3(a)～(c)は、図2(a)～(c)の半導体レーザ装置の構成における、活性層の幅に対する光強度分布の広がりを示す。

【0019】図3(a)～(c)では、光が閉じ込められる活性層（光導波領域）の厚さは、 $0.2\mu\text{m}$ で一定としており、活性層（光導波領域）の幅を横軸としている。また、光導波領域は、通常は活性層及び光閉じ込め層から形成されているが、ここでは、それらの平均の屈折率をn1としている。また、光導波領域を取り囲む周囲の領域は、均一な屈折率n2 ($n_1 > n_2$) を有すると仮定している。

【0020】図3(a)～(c)は、 $\Delta n = n_1 - n_2$ の値をパラメータとしており、それぞれ $\Delta n = 0.20$ 、 0.15 、及び 0.10 の場合の結果を示している。また、縦軸はスポット径を示し、光強度が最大値の $1/e^2$ となる時点での光強度の広がりを示す（近視野像、e:自然定数）。さらに、図3(a)～(c)の中の実線は垂直方向のスポット径を示し、破線は、水平方向のスポット径を示す。

【0021】図3(a)に示す $\Delta n = 0.20$ の場合には、活性層の幅を狭くしても、垂直方向及び水平方向ともにスポット径は変化しない。一方、図3(b)に示す $\Delta n = 0.15$ の場合及び図3(c)に示す $\Delta n = 0.10$ の場合には、活性層の幅を狭くすると、垂直方向及び水平方向ともにスポット径は広くなる。これは、 Δn が小さくなるほど光の閉じ込めが弱くなるので、活性層の幅が狭くなっていくと光が活性層から染み出して、スポット径が広がるからである。

【0022】図4は、 Δn をパラメータとして、活性層の幅に対する垂直方向の放射角を計算した結果を示す。具体的には、 $\Delta n = 0.20$ 、 0.15 、 0.12 及び 0.10 の4通りとしている。

【0023】これより、 $\Delta n = 0.20$ の場合には、活性層の幅を狭くしても放射角の変化は非常に小さいが、 Δn

=0.15以下の場合には、活性層の幅を $1.0\mu\text{m}$ 以下に狭くすると放射角が急激に狭くなることがわかる。

【0024】以上のことから、光導波領域とその周囲領域との間の屈折率差 Δn を 0.2 未満とし、半導体レーザの前端面における活性層の幅W1を約 $1.0\mu\text{m}$ 以下とすれば、非常に狭い放射角が実現可能である。但し、幅W1が狭すぎると光が光導波領域に閉じ込められなくなるので、幅W1は、導波光の基本モードが存在可能な大きさに設定する必要がある。

【0025】一方、半導体レーザの後端面における活性層の幅W2は、 $W2 > W1$ なる関係を満たすように設定する。しかし、W2が小さいと、上記の関係式からW1が非常に小さくなり、光導波領域全体における光の閉じ込めや利得が小さくなつて、しきい値電流が高くなる。共振器長の全体に渡って一定の幅を有する従来技術の半導体レーザにおいては、活性層の幅は、基本モードのみが導波可能な値に設定するが、本発明では、好ましくは幅W2を高次モードも導波可能な値に設定して、光導波領域全体における光の閉じ込めや利得が小さくならないようにする。この場合でも、半導体レーザの前端面付近では活性層幅W1が狭く、基本モードのみが導波可能であるため、高次モードで発振することは無い。但し、本発明の構成では、必ずしも、幅W2を高次モードも導波可能な値に設定しなくてもよい。

【0026】以下、本発明の実施の形態について、添付の図面を参照して説明する。

（第1の実施形態）図2(a)は、本発明の第1の実施形態の半導体レーザ装置100を前面から見た図であり、図2(b)は、半導体レーザ装置100を後面から見た図である。また、図2(c)は、半導体レーザ装置100を上部から見た透視図であり、内部構造がわかるようにしてある。さらに、図2(d)は、半導体レーザ装置100の改変された構成を示す上面から見た透視図である。半導体レーザ装置100の発振波長は、 $1.3\mu\text{m}$ 近傍である。

【0027】半導体レーザ装置100では、n型InP基板1の上に、n型InGaAsP光閉じ込め層（厚さ約 150nm 、 $\lambda g = \text{約}1.05\mu\text{m}$ ）2、多重量子井戸活性層3、p型InGaAsP光閉じ込め層（厚さ約 30nm 、 $\lambda g = \text{約}1.05\mu\text{m}$ ）4、及びp型InPクラッド層（厚さ約 400nm ）5がメサ状に形成されており、共振器長方向に対してストライプ状に伸びている。なお、図2(c)及び(d)における斜線部はストライプ14であり、このストライプ14は、n型InGaAsP光閉じ込め層2、多重量子井戸活性層3、p型InGaAsP光閉じ込め層4、及びp型InPクラッド層5で構成されている。

【0028】また、このストライプ状メサの両側は、p型InP電流ブロック層6、及びn型InP電流ブロック層7で埋め込まれており、さらにその上部には、p型InP埋め込み層8、p型InGaAsPコンタクト層（ $\lambda g = \text{約}1.3\mu\text{m}$ ）9が形成されている。

【0029】n型InP基板1の裏面には、Au/Sn合金からな

るn側電極10が形成されている。一方、p型InGaAsPコンタクト層9の上部には、ストライプ状の窓を有するSiO₂絶縁膜11が形成されており、さらにその上部に形成されたAu/Zn合金からなる電極12は、SiO₂絶縁膜11のストライプ状の窓を通してp型InGaAsPコンタクト層9に接触している。電極12の上部には、Ti/Au合金からなるp側電極13が形成されている。

【0030】また、多重量子井戸活性層3は、5対の井戸層及び障壁層から構成されている。井戸層は、約0.7%の範囲で圧縮歪が導入された厚さ約6nmのInGaAsP井戸層であり、障壁層は、意図的に歪は導入されていない厚さ約10nmのInGaAsP障壁層($\lambda g =$ 約1.05μm)である。

【0031】レーザ共振器の長さは約300μmであり、活性層3を含むストライプ14の幅が、共振器長方向に対して変化している。具体的には、半導体レーザの前端面から長さ約25μmの領域Aにおけるストライプ幅W1は約0.6μmであり、一方、半導体レーザの後端面から長さ約25μmの領域Cにおけるストライプ幅W2は、約1.6μm～約2.6μmの範囲に設定されている。残りの領域B(以下では、「テーパ領域」とも称する)では、ストライプ幅は領域Aと領域Cとを結ぶように直線的に変化している。

【0032】図5は、本実施形態の半導体レーザ装置100で、領域Cにおけるストライプ幅W2=約1.6μmの場合における電流-光出力特性の測定結果である。レーザ端面は、前面面及び後端面ともに劈開面である。図5より、しきい値電流は約20mA、スロープ効率は約0.35mW/mAであって、優れた特性を示している。

【0033】図6(a)及び(b)は、本実施形態の半導体レーザ装置100で、領域Cにおけるストライプ幅W2=約1.6μmの場合における遠視野像の測定結果である。これより、基板1に対して水平方向(図6(a)の場合)及び垂直方向(図6(b)の場合)ともに、約12度という非常に狭い放射角が実現できている。

【0034】図7は、領域Cにおけるストライプ幅W2=約1.6μm、約2.1μm、及び約2.6μmの3通りの場合における、しきい値電流の測定結果である。レーザ端面は、前面面及び後端面ともに劈開面である。これより、領域Cにおけるストライプ幅W2を広くすることによって、低しきい値化が実現できている。

【0035】図8(a)及び(b)は、本実施形態の半導体レーザ装置100で、領域Cにおけるストライプ幅W2=約2.1μmの場合における遠視野像の測定結果である。これより、基板1に対して水平方向(図8(a)の場合)及び垂直方向(図8(b)の場合)ともに、約15度という非常に狭い放射角が実現できている。また、ストライプ幅W2が高次モードを許容する値であるにもかかわらず、単峰性のピークが実現できている。これは、前述したように、領域Aにおけるストライプ幅W1が約0.6μmであり、高次モードを許容しないためである。

【0036】本実施形態では、レーザ共振器の前端面及び後端面の一部の領域A及び領域Cでストライプの幅W1及びW2を一定としているが、領域A及び領域Cの長さは共振器全体に比較して非常に短く、領域A及び領域Cを省略し、図2(d)のように幅W1の辺と幅W2の辺とを有する台形形状の領域Bのみを含む構成としても、同様の効果が得られる。また、領域A及び領域Cの形状は必ずしも直線状である必要はなく、曲線状であってもよい。さらに、領域A及び領域Cの長さは、それぞれ必ずしも約25μmである必要はない。本願発明者らによれば、上述のように領域Aと領域Cとの設置が省略された場合である0μmから、全共振器長の10%までの長さの範囲内であれば、同様な効果が実現できることが確認されている。

【0037】本実施形態では、領域Aにおけるストライプ幅W1を約0.6μmとしているが、約1.0μm未満であれば、n型InGaAsP光閉じ込め層2、多重量子井戸活性層3、及びp型InGaAsP光閉じ込め層4の厚さ或いは組成を適切に選択して、同様の効果を得ることが可能である。

【0038】さらに、本実施形態では、n型InGaAsP光閉じ込め層2、多重量子井戸活性層3、及びp型InGaAsP光閉じ込め層4からなる光導波領域の平均屈折率が、波長約1.3μmの光に対して約3.31である。一方、その周辺領域は全て、波長約1.3μmの光に対して約3.2の屈折率を有するInPで構成されており、光導波領域と周辺領域との間の屈折率差が、約0.11となっている。或いは、屈折率差が約0.15未満であれば、領域Aにおけるストライプ幅W1を約1.0μm未満で且つ基本モードを許容可能な値に適切に設定することにより、同様の効果を得ることが可能である。

【0039】さらに、本実施形態の半導体レーザ装置100の発振波長は1.3μm帯であるが、1.55μm帯或いはその他の発振波長であってもよい。また、本実施形態の半導体レーザ装置100はファブリペロー型の構成を有しているが、活性層近傍(例えば活性層近傍の基板)に回折格子が形成された分布帰還型レーザ(DFBレーザ)の構成を有していてもよい。

【0040】(第2の実施形態)図10(a)は、本発明の第2の実施形態の半導体レーザ装置200を前面から見た図であり、図10(b)は、半導体レーザ装置200を後面から見た図である。また、図10(c)は、半導体レーザ装置200を上部から見た透視図であり、内部構造がわかるようにしてある。なお、図10(c)における斜線部はストライプ14であり、このストライプ14は、n型InGaAsP光閉じ込め層2、多重量子井戸活性層3、p型InGaAsP光閉じ込め層4、及びp型InPクラッド層5で構成されている。半導体レーザ装置200の発振波長は、1.3μm近傍である。

【0041】半導体レーザ装置200の基本的な構成は、第1の実施形態における半導体レーザ装置100の構成と

同じである。同じ構成要素には同じ参照番号を付しており、その説明はここでは省略する。

【0042】本実施形態の半導体レーザ装置200では、ストライプ幅が直線的に変化している領域B（テーパ領域）において、その変化の傾き、すなわちストライプ幅方向の広がり角度（θ）17（図10(c)参照）が、共振器長方向に対して約0.14度以下となっている。以下に、図11(a)及び(b)、ならびに図12を参照して、本実施形態の効果を説明する。

【0043】図11(a)には、領域Aにおけるストライプ幅W1を約 $0.6\mu m$ とし、領域Cにおけるストライプ幅W2を約 $1.6\mu m$ 、約 $2.1\mu m$ 、或いは約 $2.6\mu m$ とし、領域Bのストライプ方向の長さLbを約 $250\mu m$ （a1、a2及びa3のグループのプロットに対応する）或いは約 $350\mu m$ （b1、b2及びb3のグループのプロットに対応する）として作製した半導体レーザ200の放射角（遠視野像の半値全幅）の測定結果を示す。

【0044】また、図11(a)の結果を、ストライプ幅の変化の傾き $\theta = \tan^{-1} \{ (W_2 - W_1) / (2 \cdot L_b) \}$ を横軸とし、放射角（遠視野像の半値全幅）を縦軸として描いたグラフを、図11(b)に示す。このような座標関係では、図11(a)のa1、a2、a3、b1、b2及びb3の各グループのプロットは、図11(b)のようにプロットされる。

【0045】図11(b)から、傾き θ を約0.14度以下とすることにより、放射角が著しく低減されることがわかる。

【0046】一方、図12は、傾き θ が約0.11度（(a)の場合）及び約0.23度（(b)の場合）における、基板に対して水平方向の遠視野像の測定結果である。傾き $\theta = \text{約}0.11\text{度(a)}$ では単峰性のピークであるのに対して、傾き $\theta = \text{約}0.23\text{度(b)}$ では複数のピークが複合された形状となっており、放射角が広がっている。これは、傾き θ の増大に伴って放射モードが生じやすくなり、出射光パターンに影響を及ぼすためである。この影響を避けるためには、図11(b)より、傾き $\theta = \text{約}0.14\text{度以下}$ とする必要がある。

【0047】（第3の実施形態）図13(a)は、本発明の第3の実施形態の半導体レーザ装置300を前面から見た図であり、図13(b)は、半導体レーザ装置300を後面から見た図である。また、図13(c)は、半導体レーザ装置300を上部から見た透視図であり、内部構造がわかるようにしてある。なお、図13(c)における斜線部はストライプ14であり、このストライプ14は、n型InGaAsP光閉じ込め層2、多重量子井戸活性層3、p型InGaAsP光閉じ込め層4、及びp型InPクラッド層5で構成されている。半導体レーザ装置300の発振波長は、 $1.3\mu m$ 近傍である。

【0048】半導体レーザ装置300の基本的な構成は、第1の実施形態における半導体レーザ装置100の構成と

同じである。同じ構成要素には同じ参照番号を付しており、その説明はここでは省略する。

【0049】本実施形態の半導体レーザ装置300では、ストライプ幅が直線的に変化しているテーパ領域が領域B1及び領域B2の2領域から形成されており、領域B1と領域B2とでは、その変化の傾きが異なっている。具体的には、領域B1での変化の傾き（θ1）18と領域B2での変化の傾き（θ2）19との間に $\theta_1 < \theta_2$ なる関係があり、θ1は約0.14度以下となっている。

【0050】この様な構成とすることにより、低しきい値電流特性及び狭放射角特性の実現が可能になる。

【0051】テーパ領域の前端面に近い部分からの放射モード光ほど、出射光パターンに大きな影響を及ぼす。そこで、本実施形態では、前端面に近い領域B1のストライプ幅の変化の傾き（θ1）18を約0.14度以下として、狭放射角特性の実現を可能としている。一方、前端面から離れた領域B2のストライプ幅の変化の傾き（θ2）19を大きくすることによって、光導波領域の全体における光閉じ込めや利得を大きくして、低しきい値電流特性の実現を可能としている。

【0052】なお、本実施形態では、ストライプ幅が直線的に変化しているテーパ領域を、変化の傾きが異なる2つの領域B1及びB2から形成しているが、3つ以上の領域で形成しても、その効果は同じである。

【0053】（第4の実施形態）図14(a)は、本発明の第4の実施形態の半導体レーザ装置400を前面から見た図であり、図14(b)は、半導体レーザ装置400を後面から見た図である。また、図14(c)は、半導体レーザ装置400を上部から見た透視図であり、内部構造がわかるようにしてある。また、図14(d)は、半導体レーザ装置400の構成の一部の拡大図である。なお、図14(c)における斜線部はストライプ14であり、このストライプ14は、n型InGaAsP光閉じ込め層2、多重量子井戸活性層3、p型InGaAsP光閉じ込め層4、及びp型InPクラッド層5で構成されている。半導体レーザ装置400の発振波長は、 $1.3\mu m$ 近傍である。

【0054】半導体レーザ装置400の基本的な構成は、第1の実施形態における半導体レーザ装置100の構成と同じである。同じ構成要素には同じ参照番号を付しており、その説明はここでは省略する。

【0055】本実施形態の半導体レーザ装置400では、領域Aと領域Bとの間の境界20、及び領域Cと領域Bとの間の境界21が、各々滑らかに接続されている。ここで、「滑らか」という意味を数学的に表現すれば、領域Aと領域Bとの間の境界20、及び領域Bと領域Cとの間の境界21で、それぞれの領域における傾きの微分係数が一致することを言う。従って、図14(d)の拡大図に示すように、領域Aにおけるストライプ幅W1は、境界20での微分係数の不連続が生じないように、領域Bに向かって徐々にW1から広がっていく。同様に、領域Bのス

トライプ幅は、境界21での微分係数の不連続が生じないように、領域Cに向かって徐々にW2になっていく。

【0056】この様な構成にすることにより、領域Aと領域B、及び領域Bと領域Cの各々の境界20及び21において、屈折率の変化が緩やかになる。これによって、各々の境界20及び21における光の反射が抑制されて、複合共振器モードの発生が抑制され、レーザの雑音が増大しない。

【0057】図15(a)～(d)ならびに図16(a)及び(b)を参照して、本実施形態の効果を説明する。

【0058】図15(a)に模式的に示すように、領域Aと領域Bとの間の境界20、及び領域Bと領域Cとの間の境界21においてストライプ幅が急激に変化している場合は、各境界20及び21で屈折率も急激に変化している。このため、各境界20及び21での光反射量が大きくなり、領域Aの内部或いは領域Cの内部において、光の帰還22が生じる。この結果、領域Aの共振器長或いは領域Cの共振器長に対応する間隔で、局所的な発振モードが存在する。利得曲線のピーク近傍において、これらの局所的な発振モードと全共振器長に対応する発振モード（メイン発振モード）とが一致すると、図15(b)の様な発振スペクトルとなる。ここで、参考番号24は、全共振器長に対応するメイン発振モードであり、参考番号23は、全共振器長に対応するメイン発振モードに領域Aの共振器長或いは領域Cの共振器長に対応する間隔での局所的な発振モードが重なったものである。このように2種類の発振モードからなる発振モードを、複合共振器モードと呼ぶ。さらに、注入電流量が変化すると、図15(c)或いは図15(d)のように発振スペクトルが変化し、レーザを変調した場合の雑音の原因となる。

【0059】一方、図16(a)は、本実施形態の半導体レーザ装置400の構成を模式的に示す図であるが、領域Aと領域Bとの間の境界20、及び領域Bと領域Cとの間の境界21を滑らかに接続することにより、各境界20及び21における屈折率の変化が緩やかになり、境界20及び21での光反射が抑制される。この結果、図16(b)に示すように、領域Aの共振器長或いは領域Cの共振器長に対応する間隔での発振モードは現われず、複合共振器モードが抑制されて、レーザの雑音は増大しない。

【0060】(第5の実施形態)図17(a)は、本発明の第5の実施形態の半導体レーザ装置500を前面から見た図であり、図17(b)は、半導体レーザ装置500を後面から見た図である。また、図17(c)は、半導体レーザ装置500を上部から見た透視図であり、内部構造がわかるようにしてある。さらに、図17(d)は、半導体レーザ装置500の改変された構成を示す上面からみた透視図である。なお、図17(c)及び(d)における斜線部はストライプ14であり、このストライプ14は、n型InGaAsP光閉じ込め層2、多重量子子井戸活性層3、p型InGaAsP光閉じ込め層4、及びp型InPクラッド層5で構成されている。半導

体レーザ装置500の発振波長は、 $1.3\mu m$ 近傍である。

【0061】半導体レーザ装置500の基本的な構成は、第1の実施形態における半導体レーザ装置100の構成と同じである。同じ構成要素には同じ参考番号を付しております、その説明はここでは省略する。

【0062】本実施形態の半導体レーザ装置500では、領域A及び領域Cにおいて、領域Bと接する側でのストライプ両側面の長さが異なり、領域Aと領域Bとの間の境界25及び領域Cと領域Bとの間の境界26が、共振器長方向に対してそれぞれ45度傾斜している。

【0063】この様な構成にすることにより、図17(c)に示すように、領域Aと領域Bとの間の境界25及び領域Cと領域Bとの間の境界26で発生する反射光27は、ストライプの外に向けられる。このため、領域A及び領域Cは、それ自体では共振器として作用しないので、複合共振器モードが抑制され、レーザの雑音が増大しない。

【0064】なお、境界25及び26の傾斜角度は必ずしも45度である必要は無く、約15度から約75度の範囲であれば、ほぼ同等の効果が得られる。また、境界25の傾斜角度と境界26の傾斜角度とは、必ずしも同じ値に設定される必要はなく、お互いに異なる値に設定してもよい。

【0065】また、図17(c)の構成では、境界25と境界26とは、共振器長方向に対してお互いに逆向きに傾いているが、図17(d)のように、共振器長方向に対してお互いに同じ向きに傾いてお互いに平行になっていてもよい。

【0066】(第6の実施形態)図18(a)は、本発明の第6の実施形態の半導体レーザ装置600を前面から見た図であり、図18(b)は、半導体レーザ装置600を後面から見た図である。また、図18(c)は、半導体レーザ装置600を上部から見た透視図であり、内部構造がわかるようにしてある。なお、図18(c)における斜線部はストライプ14であり、このストライプ14は、n型InGaAsP光閉じ込め層2、多重量子子井戸活性層3、p型InGaAsP光閉じ込め層4、及びp型InPクラッド層5で構成されている。半導体レーザ装置600の発振波長は、 $1.3\mu m$ 近傍である。

【0067】半導体レーザ装置600の基本的な構成は、第1の実施形態における半導体レーザ装置100の構成と同じである。同じ構成要素には同じ参考番号を付しております、その説明はここでは省略する。

【0068】本実施形態の半導体レーザ装置600では、領域A及び領域Cの長さを約 $5\mu m$ 以下としている。これにより、図19に示すように、得られる発振スペクトルにおいて、半導体レーザ装置600の発振波長である $1.3\mu m$ 近傍には、領域Aの共振器長及び領域Cの共振器長に相当する局所的な共振器モード23は存在せず、全共振器長に相当する発振モード24のみが存在する。この結果、複合共振器モードが抑制され、レーザの雑音が増大

しない。一方、領域A及び領域Cの長さが上記の値より長くなると、領域Aの共振器長或いは領域Cの共振器長に対応する局所的な共振器モードの間隔が短くなつて、全共振器長に対応するメイン発振モードに影響を及ぼす可能性がある。

【0069】(第7の実施形態)図20(a)は、本発明の第7の実施形態の半導体レーザ装置700を前面から見た図であり、図20(b)は、半導体レーザ装置700を後面から見た図である。また、図20(c)は、半導体レーザ装置700を上部から見た透視図であり、内部構造がわかるようにしてある。なお、図20(c)における斜線部はストライプ14であり、このストライプ14は、n型InGaAsP光閉じ込め層2、多重量子井戸活性層3、p型InGaAsP光閉じ込め層4、及びp型InPクラッド層5で構成されている。半導体レーザ装置700の発振波長は、 $1.3\mu m$ 近傍である。

【0070】半導体レーザ装置700の基本的な構成は、第1の実施形態における半導体レーザ装置100の構成と同じである。同じ構成要素には同じ参照番号を付しております、その説明はここでは省略する。

【0071】本実施形態の半導体レーザ装置700では、後端面に、反射率が約60%以上、典型的には約80%の高反射膜28が形成されているとともに、領域A及び領域Cの長さをそれぞれ約 $25\mu m$ 及び約 $5\mu m$ 以下としている。後端面に高反射膜28が形成されると、後端面側に位置する領域Cで複合共振器モードが生じ易くなるが、上記のように領域Cの長さを短くすることにより、領域Cでの共振器モードの発生が抑制され、レーザの雑音が増大しない。また、領域Aの長さが約 $25\mu m$ であるので、劈開時の位置ずれによる領域Aの消失は生じない。

【0072】(第8の実施形態)図21は、本発明の第8の実施形態の半導体レーザ装置800の中央部分における共振器長方向に沿った断面図である。半導体レーザ装置800の発振波長は、 $1.3\mu m$ 近傍である。

【0073】半導体レーザ装置800の基本的な構成は、第1の実施形態における半導体レーザ装置100の構成と同じである。同じ構成要素には同じ参照番号を付しております、その説明はここでは省略する。

【0074】本実施形態の半導体レーザ装置800では、p側のAu/Zn電極12及びTi/Au電極13が、端面と平行な関係にある5つの分離溝29～33によって分離されている。分離溝29～33では、p型InGaAsPコンタクト層9、及びコンタクト層9の直下のp型InPクラッド層8の一部が、さらに除去されている。

【0075】分離溝29～33は、共振器長に沿って後端面に近いほど、広い幅を有している。すなわち、分離溝30は分離溝29よりも幅が広く、分離溝31は分離溝30よりも幅が広い。具体的には、前端面に最も近い分離溝29の幅は、典型的には約 $5\mu m$ であり、分離溝30～32の幅は、典型的にはそれぞれ約 $10\mu m$ 、約 $15\mu m$ 及び約 $20\mu m$ で

あり、後端面に最も近い分離溝32の幅は、典型的には約 $25\mu m$ である。

【0076】本実施形態のような分離溝が設けられずに、p側電極12及び13がレーザ素子の上面に全面的に形成されていると、後端部に近くストライプ幅が広い領域ほど活性領域への注入電流量が実質的に大きくなつて、図22(a)に示すように後端部に近いほど光強度が高くなる。この様な場合、後端部に近く光強度が高い領域ほどキャリア密度が減少し、図22(b)に示すように共振器長方向にキャリア密度が変化する。この結果、利得スペクトルの半値幅が広がつて微分利得の減少が生じ、しきい値電流が増大する。

【0077】これに対して、本実施形態のように分離溝29～33を有する構成にすることにより、ストライプ幅が広い後端面に近いほどp側電極12及び13の面積が実質的に狭くなるので、注入電流量が結果的に減少する。従つて、ストライプ幅が広いことによる光強度の増大が抑制され、光強度の分布は、図22(c)に示すように共振器長方向に一定となる。

【0078】なお、本実施形態では分離溝29～33の数を5としたが、具体的な分離溝の数は必ずしも5である必要はなく、2つ以上あれば同様の効果が得られる。

【0079】(第9の実施形態)図23は、本発明の第9の実施形態の半導体レーザ装置900の中央部分における共振器長方向に沿った断面図である。半導体レーザ装置900の発振波長は、 $1.3\mu m$ 近傍である。

【0080】半導体レーザ装置900の基本的な構成は、第1の実施形態における半導体レーザ装置100の構成と同じである。同じ構成要素には同じ参照番号を付しております、その説明はここでは省略する。

【0081】本実施形態の半導体レーザ装置900では、p側のAu/Zn電極12及びTi/Au電極13が、端面と平行な関係にある4つの分離溝34によって分離されている。各分離溝34では、p型InGaAsPコンタクト層9、及びコンタクト層9の直下のp型InPクラッド層8の一部が、さらに除去されている。また、各分離溝34の幅は、約 $5\mu m$ で一定である。

【0082】共振器は、分離溝34によって、それぞれ長さ約 $60\mu m$ の5つの領域A、B、C、D及びEに分けられており、各領域A～Eに注入する電流 I_A 、 I_B 、 I_C 、 I_D 及び I_E の間には、 $I_A > I_B > I_C > I_D > I_E$ なる関係が成立している。これによって、ストライプ幅が広い後端面に近いほど、注入電流量が減少する。従つて、第8の実施形態の場合と同様に、ストライプ幅が広いことによる光強度の増大が抑制され、光強度は共振器長方向に一定となる。

【0083】なお、本実施形態では分離溝34の数を4としたが、具体的な分離溝34の数は必ずしも4である必要はなく、2つ以上あれば同様の効果が期待される。

【0084】(第10の実施形態)図24は、本発明の

第10の実施形態の半導体レーザ装置1000の中央部分における共振器長方向に沿った断面図である。半導体レーザ装置1000の発振波長は、 $1.3\mu\text{m}$ 近傍である。

【0085】半導体レーザ装置1000の基本的な構成は、第1の実施形態における半導体レーザ装置100の構成と同じである。同じ構成要素には同じ参考番号を付しております、その説明はここでは省略する。

【0086】本実施形態の半導体レーザ装置1000では、n型InP基板1とn型InGaAsP光閉じ込め層2との間に、ピッチが約200nmである回折格子35が形成されている。回折格子35は、半導体レーザ装置1000の前端面から共振器長の約3分の1の範囲に形成されており、その結合係数は約 6.0cm^{-1} である。さらに、半導体レーザ装置1000の前端面には、反射率が典型的には約5%の無反射膜36がコーティングされており、一方、後端面には、反射率が典型的には約80%の高反射膜37がコーティングされている。

【0087】図25(a)及び(b)は、半導体レーザ装置の共振器長に渡る光強度分布を模式的に示す。

【0088】図25(a)には、比較例として、共振器長の全体に回折格子が形成されている場合の結果を示す。この場合には、共振器の内部における光強度分布は、曲線Aのように前面から後面に向けて次第に増加し、後面近傍で著しく光強度が強くなる。これは、回折格子の存在に起因する内部の光帰還による後面近傍での光強度の集中、及び後面近傍でストライプ幅が広くなっていることに起因する後面部での光強度の増大という、2つの要因が重なるためにより生じる現象である。このように後面近傍で著しく光強度が強くなると、前面から取り出せる光強度が低くなる。

【0089】これに対して本実施形態の半導体レーザ装置1000の構造では、回折格子35を前面の近傍のみに形成することにより、光帰還による後面近傍における光強度の集中を低減している。この結果、図25(b)の曲線Bに示すように、共振器長の全体に渡ってほぼ均一な光強度分布が実現され、前面から取り出せる光強度が高くなる。

【0090】なお、上記の説明では、第1の実施形態の半導体レーザ装置の構成に回折格子35を付加した構造について説明しているが、第2～第9の実施形態における半導体レーザ装置の構成に回折格子を組み合わせても、上記と同様の効果が得られる。

【0091】(第11の実施形態)図26(a)は、本発明の第11の実施形態の半導体レーザ装置1100の中央部分における共振器長方向に沿った断面図である。また、図26(b)は、半導体レーザ装置1100を上部から見た透視図であり、内部構造がわかるようにしてある。なお、図26(b)におけるハッキング部はストライプ14であり、このストライプ14は、n型InGaAsP光閉じ込め層2、多重量子井戸活性層3、p型InGaAsP光閉じ込め層4、及び

p型InPクラッド層5で構成されている。半導体レーザ装置1100の発振波長は、 $1.3\mu\text{m}$ 近傍である。

【0092】半導体レーザ装置1100の基本的な構成は、第1の実施形態における半導体レーザ装置100の構成と同じである。同じ構成要素には同じ参考番号を付しております、その説明はここでは省略する。

【0093】本実施形態の半導体レーザ装置1100では、n型InP基板1の上に、共振器長の全体に渡ってピッチが約200nmのほぼ台形状の断面を有する凹凸形状107が形成されている。そして、凹凸形状107の凹部の内部のみに、厚さが約30nmから約50nmのInAsP層108が形成されている。さらに、n型InP基板1とn型InGaAsP光閉じ込め層2との間には、凹凸形状107及びInAsP層108を覆うように、厚さ約50nmのn型InPバッファ層106が形成されている。

【0094】図27は、InAsP層108の組成を $\text{InAs}_y\text{P}_{1-y}$ と表現した場合のAsの組成比yと、InAsP層108のバンドギャップエネルギー波長との関係を示す。これより、InAsP層108では、そのAsの組成比yを変化させることにより、バンドギャップエネルギー波長を変化させることが可能である。

【0095】なお、図27におけるバンドギャップエネルギー波長は、InP層の上にInAsP層がコヒーレント成長した状態、すなわちInAsP層が平面方向でInP層に格子整合して成長した状態を仮定した計算によって得られている。

【0096】図27より、 $\text{InAs}_y\text{P}_{1-y}$ 層108におけるAsの組成比yを約0.35以下とすると、そのバンドギャップエネルギー波長は、本実施形態の半導体レーザ装置1100の発振波長である約 $1.3\mu\text{m}$ よりも短波長になり、 $\text{InAs}_y\text{P}_{1-y}$ 層108は活性層から放射されるレーザ光を吸収しない。しかし、 $\text{InAs}_y\text{P}_{1-y}$ 層108は、図28に示すように、InP(すなわちy=0)と比較して同一波長の光に関して大きな屈折率を有する。このため、図29(a)に示すような $\text{InAs}_y\text{P}_{1-y}$ 層108の配置に対して、図29(b)に示すように実効屈折率が共振器長方向に周期的に変化する。この結果、屈折率結合型の分布帰還型(DFB)レーザが実現されて、単一波長発振が可能となる。

【0097】一方、 $\text{InAs}_y\text{P}_{1-y}$ 層108におけるAsの組成比yを約0.35以上とすると、そのバンドギャップエネルギー波長は本実施形態の半導体レーザ装置1100の発振波長である約 $1.3\mu\text{m}$ より長波長になり、 $\text{InAs}_y\text{P}_{1-y}$ 層108は活性層から放射されるレーザ光を吸収する。この場合、図29(a)に示すような $\text{InAs}_y\text{P}_{1-y}$ 層108の配置に対して、図29(c)に示すように利得が共振器長方向に変化する。この結果、利得結合型の分布帰還型(DFB)レーザが実現されて、単一波長発振が可能となる。

【0098】本実施形態の構成における基板1の表面の凹凸形状107及びInAsP層108は、実質的に回折格子として機能する。上記のように、回折格子の構成材料として

$InAs_yP_{1-y}$ 結晶を用いれば、そのAsの組成比yを制御することにより、屈折率結合型分布帰還型レーザ或いは利得結合型分布帰還レーザのいずれもが実現可能となる。屈折率結合型分布帰還レーザを実現する場合には、 $InAsP$ 層108のAsの組成比yを制御して $InAsP$ 層108の屈折率を変化させることができるので、屈折率結合係数を正確に制御することが可能となる。一方、利得結合型分布帰還レーザを実現する場合には、 $InAsP$ 層108のAsの組成比yを制御して $InAsP$ 層108の吸収係数を変化させることができるので、利得結合係数を正確に制御することが可能となる。

【0099】さらに、利得結合型分布帰還レーザは、屈折率結合型分布帰還レーザと比較して、反射戻り光がレーザに入射しても、雑音は比較的に小程度にしか増大しない。このため、半導体レーザ装置から出射した光を光ファイバに直接に光結合する場合に、光ファイバの端面で反射した光がレーザの出射面に戻っても、レーザの雑音は増大しにくいという利点を有する。

【0100】なお、本実施形態では、基板1と光閉じ込め層2との間にn型InPバッファ層106を設けている。このバッファ層106は、 $InAs_yP_{1-y}$ 層108のAs組成yが比較的大きい場合に $InAs_yP_{1-y}$ 層108に大きな圧縮歪が加えられることを考慮して、さらにその上部に形成される活性層3への歪の影響を小さくするために設けられている。 $InAs_yP_{1-y}$ 層108のAs組成yが約0.35以下と比較的小さい場合は、バッファ層106の設置は省略できる。

【0101】さらに、 $InAsP$ 層108は、 $In_{1-x}Ga_xAs$ 層或いは $In_{1-x}Ga_xAs_yP_{1-y}$ 層であっても良い。これらの組成における組成比x或いはyの値を適当に選択することにより、 $InAsP$ 層108と同様な効果が得られる。

【0102】(第12の実施形態) 図30(a)は、本発明の第12の実施形態の半導体レーザ装置1200の中央部分における共振器長方向に沿った断面図である。また、図30(b)は、半導体レーザ装置1200を上部から見た透視図であり、内部構造がわかるようにしてある。なお、図30(b)におけるハッチング部はストライプ14であり、このストライプ14は、n型InGaAsP光閉じ込め層2、多重量子井戸活性層3、p型InGaAsP光閉じ込め層4、及びp型InPクラッド層5で構成されている。半導体レーザ装置1200の発振波長は、1.3μm近傍である。

【0103】半導体レーザ装置1200の基本的な構成は、第11の実施形態における半導体レーザ装置1100の構成と同じである。同じ構成要素には同じ参照番号を付しており、その説明はここでは省略する。

【0104】本実施形態の半導体レーザ装置1200では、n型InP基板1の表面に形成された凹凸形状117のピッチが、共振器長方向に次第に変化している。これにともなって、凹凸形状117の凹部に形成された $InAsP$ 層108からなる回折格子のピッチが、共振器長方向に次第に変化している。

【0105】本実施形態の半導体レーザ装置1200の特徴を、図31(a)～(f)を参照して説明する。

【0106】図31(a)は、半導体レーザ装置1200における活性層のストライプ構造14を上部から見た図であり、図31(b)は、その実効屈折率neffの共振器長方向の分布を示す。図31(c)に示すように回折格子のピッチ Δg が共振器長方向に一定であるとした場合のプラグ波長入bの共振器長方向の分布を、図31(d)に示す。

【0107】図31(a)に示すように、前端面(出射面)側の領域Aではストライプ幅は約0.6μmで一定であり、一方、後端面側の領域Cではストライプ幅は約2.1μmで一定である。両者の間の領域Bでは、ストライプ幅が直線的に変化している。このとき、図31(b)に示すように、実効屈折率neffは領域Aでは約3.20、領域Cでは約3.22となり、両者の間の領域Bでは、実効屈折率neffは約3.20から約3.22に直線的に変化している。プラグ波長入bは $\lambda b = \Delta g \times neff$ の式で与えられるので、図31(c)に示すように回折格子のピッチ Δg が共振器長方向に対して $\Delta g =$ 約203.0nmで一定であれば、プラグ波長入bは、図31(d)に示すように約1.301μmから約1.306μmの間で変化する。このように、共振器長方向のプラグ波長入bがある範囲内で変化すると、单一波長で発振する確率が低下する。

【0108】これに対して、図32(e)に示すように、回折格子のピッチ Δg を領域Aでは $\Delta g =$ 約204.4nm、領域Cでは $\Delta g =$ 約203.7nmとし、領域Bでは約204.4nmから約203.7nmの範囲で直線的に変化する構成とすれば、プラグ波長入bは、図31(f)に示すように共振器長方向に対して $\lambda b =$ 約1.310μmで一定になる。このように、プラグ波長入bが共振器長方向で一定であれば、单一波長で発振する確率は低下しない。

【0109】(第13の実施形態) 図32(a)は、本発明の第13の実施形態の半導体レーザ装置1300の中央部分における共振器長方向に沿った断面図である。また、図32(b)は、半導体レーザ装置1300を上部から見た透視図であり、内部構造がわかるようにしてある。なお、図32(b)におけるハッチング部はストライプ14であり、このストライプ14は、n型InGaAsP光閉じ込め層2、多重量子井戸活性層3、p型InGaAsP光閉じ込め層4、及びp型InPクラッド層5で構成されている。半導体レーザ装置1300の発振波長は、1.3μm近傍である。

【0110】半導体レーザ装置1300の基本的な構成は、第11の実施形態における半導体レーザ装置1100の構成と同じである。同じ構成要素には同じ参照番号を付しており、その説明はここでは省略する。

【0111】本実施形態の半導体レーザ装置1300では、n型InP基板1の上に共振器長の全体に渡って形成されているピッチ約200nmの凹凸形状107の上に、直接にn型InGaAsP光閉じ込め層2が形成されている。このような構成であっても、n型InP基板1の上に形成された凹凸形状107

の存在により、n型InGaAsP光閉じ込め層2の厚さが共振器長方向に周期的に変化する。これによって、半導体レーザ装置1300は屈折率結合型の分布帰還型レーザとなり、単一波長発振が可能となる。

【0112】(第14の実施形態)図33(a)は、本発明の第14の実施形態の半導体レーザ装置1400の中央部分における共振器長方向に沿った断面図である。また、図33(b)は、半導体レーザ装置1400を上部から見た透視図であり、内部構造がわかるようにしてある。なお、図33(b)におけるハッキング部はストライプ14であり、このストライプ14は、n型InGaAsP光閉じ込め層2、多重量子井戸活性層3、p型InGaAsP光閉じ込め層4、及びp型InPクラッド層5で構成されている。半導体レーザ装置1400の発振波長は、 $1.3\mu\text{m}$ 近傍である。

【0113】半導体レーザ装置1400の基本的な構成は、第12の実施形態における半導体レーザ装置1200の構成と同じである。同じ構成要素には同じ参考番号を付しており、その説明はここでは省略する。

【0114】本実施形態の半導体レーザ装置1400では、n型InP基板1に形成された可変ピッチの凹凸形状117の上に、直接にn型InGaAsP光閉じ込め層2が形成されている。このような構成であっても、第12の実施形態における半導体レーザ装置1200と同様の効果を得ることができる。

【0115】(第15の実施形態)図34(a)は、本発明の第15の実施形態における光通信システム1500の構成図である。

【0116】具体的には、この光通信システム1500では、電気信号発生器38からの電気信号により、半導体レーザ39を直接的に強度変調し、半導体レーザ39の前面から放射されるレーザ光を直接的に光ファイバ40に集光する。そして、光ファイバ40からの出力光を光検出器41で電気信号に変換することにより、音声信号や映像信号やデータを伝送する。この構成における半導体レーザ39として、本発明の第1～第14の実施形態における半導体レーザ装置100～1400のいずれかを使用する。

【0117】上記の光通信システム1500の構成の特徴は、半導体レーザ39からの放射光を、直接、光ファイバ40に集光している点である。

【0118】従来技術による光通信システム1550では、図34(b)に示すように、半導体レーザ42と光ファイバ40との間にレンズ44が挿入される。これは、従来技術の光通信システム1550では、半導体レーザ42が広い放射角を有するために、放射光43を直接に光ファイバ40に集光できないためである。

【0119】これに対して、本発明による光通信システム1500の構成では、これまでの各実施形態で説明した半導体レーザ装置100～1400を、半導体レーザ39として使用している。これらの半導体レーザ装置100～1400は、いずれも放射角が非常に狭いので、図34(a)に示す構

成のように、半導体レーザ39の出射光をレンズを介さずに直接に光ファイバ40に集光することが可能となる。この結果、レンズの製造に必要になるコスト及びレンズの位置決めを行うために必要になるコストが削減でき、結果的には、システム全体のコストを低減することが可能となる。

【0120】(第16の実施形態)図9(a)～(d)を参照して、本発明における半導体レーザ装置の作製方法を説明する。図9(a)～(d)のそれぞれにおいて、図の左側には、半導体レーザ装置の共振器長に垂直な方向における断面図が示されており、図の右側には、半導体レーザ装置の上面図が示されている。

【0121】まず、図9(a)に示すように、n型InP基板1の全面上に、n型InGaAsP光閉じ込め層(厚さ約150nm、 $\lambda g=約1.05\mu\text{m}$)2、多重量子井戸活性層3、p型InGaAsP光閉じ込め層(厚さ約30nm、 $\lambda g=約1.05\mu\text{m}$)4、p型InPクラッド層(厚さ約400nm)5、p型InGaAsPキャップ層(厚さ約100nm、 $\lambda g=約1.3\mu\text{m}$)15を、例えば有機金属気相成長法により堆積する。

【0122】続いて、図9(b)に示すように、p型InGaAsPキャップ層15の表面に、ストライプ状のSiN膜16を形成する。このストライプ状SiN膜16は、図9(b)の上面図に示すように、領域MC、領域MB、領域MA、及び領域MBが、ストライプ長方向(共振器長方向)に順に存在するように形成される。領域MAは、一定のストライプ幅WM1を有する領域であり、領域MCは、一定のストライプ幅WM2(但し、 $WM1 < WM2$)を有する領域である。また、領域MBは、領域MAと領域MCとを結ぶ領域であって、そのストライプ幅はWM1とWM2との間で連続的に変化している。ストライプ長方向の領域MA及び領域MCの長さは、例えばそれぞれ約50μmとし、ストライプ長方向の領域MBの長さは、例えば約250μmとする。

【0123】続いて、図9(c)に示すように、場所によって変化する幅を有するストライプ状SiN膜16をマスクとするドライエッチング或いはウェットエッチングを行って、n型InGaAsP光閉じ込め層2、多重量子井戸活性層3、p型InGaAsP光閉じ込め層4、p型InPクラッド層5、及びp型InGaAsPキャップ層15をストライプ状に加工し、さらにその後にSiN膜16を除去する。これによって、n型InGaAsP光閉じ込め層2、多重量子井戸活性層3、p型InGaAsP光閉じ込め層4を含むストライプ状メサが形成される。ストライプ状メサは、先のストライプ状SiN膜16の形状に対応して、図9(c)の上面図に示すように、領域C、領域B、領域A、及び領域Bが、ストライプ長方向(共振器長方向)に順に存在するように形成される。領域Aは、一定のストライプ幅W1を有する領域であり、領域Cは、一定のストライプ幅W2(但し、 $W1 < W2$)を有する領域である。また、領域Bは、領域Aと領域Cとを結ぶ領域であって、そのストライプ幅はW1とW2と

の間で連続的に変化している。ストライプ長方向の領域A及び領域Cの長さは、例えばそれぞれ約 $50\mu\text{m}$ となり、ストライプ長方向の領域Bの長さは、例えば約 $250\mu\text{m}$ となる。なお、ここで、領域Aにおけるストライプ幅W1は、約 $1.0\mu\text{m}$ 未満で且つ基本モードを許容する値に設定する。

【0124】続いて、図9(d)に示すように、液相成長法により、上記で形成したストライプ状メサを埋め込むように、p型InP電流ブロック層6、n型InP電流ブロック層7、p型InP埋め込み層8、p型InGaAsPコンタクト層(λg =約 $1.3\mu\text{m}$)9を、順次堆積する。

【0125】なお、上記の液相成長工程では、キャップ層15が使用される溶媒中に溶出して、失われる。或いは、液相成長法に代わって、化学的気相成長法によって上記の埋め込みプロセスを行うこともできる。その場合には、キャップ層15の形成は、当初から省略される。

【0126】さらに、形成されたp型InGaAsPコンタクト層9の上には、SiO₂絶縁膜11を堆積する。そして、SiO₂絶縁膜11にストライプ状に窓を開け、この窓を介してp型InGaAsPコンタクト層9に接触するように、Au/Zn電極12を蒸着する。さらに、SiO₂絶縁膜11及びAu/Zn電極12の上には、Ti/Au電極13を蒸着する。一方、n型InP基板1の裏面には、Au/Sn電極10を蒸着する。

【0127】その後に、図9(d)の上面図に示すような複数の劈開面に沿って劈開を行って、本発明の半導体レーザ装置を形成する。なお、この複数の劈開面は、好ましくは図9(c)の上面図に示した領域A及び領域Cの中央部に位置させる。

【0128】以上の製造工程では、領域A及び領域Cの長さをそれぞれ約 $50\mu\text{m}$ としているので、図9(d)に示す劈開面の位置が領域A及び領域Cの中央部から最大で $25\mu\text{m}$ までずれても、作製される半導体レーザ装置の前面及び後端面における活性層を含むストライプ幅は、劈開位置のずれの影響を受けない。

【0129】以上の説明では、領域A及び領域Cの長さをそれぞれ約 $50\mu\text{m}$ としているが、これらは、それぞれ領域Bの長さの約15%よりも短ければ、上記と同様の特性が得られる。

【0130】なお、これまでの各実施形態で説明したストライプ14の様々な形状は、エッティングマスクとして機能するSiN膜16を適切なパターンに形成することで実現される。また、端面への高反射膜や無反射膜のコーティングは、当該技術分野で公知の方法によって行うことができる。

【0131】さらに、第11の実施形態において、n型InP基板1の表面に凹凸形状107を設けて、この凹凸形状107の凹部にInAsP層108を形成する方法について説明する。具体的には、図35(a)～(e)を参照しながら、図26(a)及び(b)に示す半導体レーザ装置(DFBレーザ)1100の製造方法を説明する。

【0132】まず、図35(a)に示すように、n型InP基板1の表面に、ピッチが約 203nm で深さが約 100nm である凹凸形状(回折格子)107を、2光束干渉露光法により形成する。

【0133】次に、水素雰囲気中に100%のフォスフィン(PH₃)約 $100\text{cc}/\text{min}$ 及び10%のアルシン(Ash₃)約 $10\text{cc}/\text{min}$ を導入し、この雰囲気中で、n型InP基板1を約 600°C で熱処理する。その結果、図35(b)に示すように、凹凸形状(回折格子)107の凹部に、厚さが約 50nm のInAsP層108を形成する。その後、図35(c)に示すように、続けて有機金属気相成長法によりn型InPクラッド層106、n型InGaAsP導波路層(厚さ約 50nm 、 λg =約 1.05nm)2、多重量子井戸活性層3、p型InGaAsP導波路層4、p型InPクラッド層(厚さ約 400nm)5を順次堆積する。

【0134】この後、図35(d)に示すように、ストライプ状のメサをエッティングにより形成する。次に液相成長法により、p型InP電流ブロック層6、n型InP電流ブロック層7、p型InP埋め込み層8、p型InGaAsPコンタクト層(λg =約 $1.3\mu\text{m}$)9を順次堆積する。

【0135】さらに、形成されたp型InGaAsPコンタクト層9の上には、SiO₂絶縁膜11を堆積する。そして、SiO₂絶縁膜11にストライプ状に窓を開け、この窓を介してp型InGaAsPコンタクト層9に接触するように、Au/Zn電極12を蒸着する。さらに、SiO₂絶縁膜11及びAu/Zn電極12の上には、Ti/Au電極13を蒸着する。一方、n型InP基板1の裏面には、Au/Sn電極10を蒸着する。

【0136】その後に、適切な箇所で劈開して、図35(e)に示すようなDFBレーザ装置を作製する。

【0137】上記製造方法の重要な工程を、図36(a)～(c)を参照して、詳細に説明する。

【0138】図36(a)は、エッティングにより凹凸形状(回折格子)107が形成されたn型InP基板1の断面を示している。凹凸形状(回折格子)107が形成されたn型InP基板1を、フォスフィン(PH₃)とアルシン(Ash₃)とが混合された雰囲気中で熱処理すると、図36(b)に示されるように、熱処理中のマストランスポート現象によって、凹凸形状(回折格子)107の凹部に、InAsP層108が堆積される。この後にn型InPクラッド層106を続けて成長すると、図36(c)に示されるように、n型InP層106の中に周期的に配列された逆三角形状のInAsP層108を形成することが可能である。

【0139】図37は、100%フォスフィンの流量を約 $10\text{cc}/\text{min}$ とし、温度を約 600°C としたときの、アルシンの流量に対するフォトルミネッセンス波長の変化を示している。図37に示されるように、フォスフィン(PH₃)の流量を一定にしてアルシン(Ash₃)の流量を変化させると、InAsP層108からのフォトルミネッセンス波長が連続的に変化する。これは、アルシン(Ash₃)の流量を変化させることによって、InAsP層108のバンドギャップエネルギーを変化させることができることを示してい

る。

【0140】また、InAsP層108のバンドギャップエネルギーを、形成される半導体レーザ装置の活性層3から光分布帰還を経て放出される光エネルギーよりも大きく設定すれば、すなわち、InAsP層108のフォトルミネッセンス波長を半導体レーザ装置の発振波長よりも短波長側に設定すれば、InAsP層108は、活性層3から放出される光に対して透明になる。その結果、InAsP層108が周囲のInP層に対して屈折率が高いことから屈折率の周期的変動が生じ、屈折率結合型のDFBレーザが作製できる。

【0141】一方、InAsP層108のバンドギャップエネルギーを、形成される半導体レーザ装置の活性層3から光分布帰還を経て放出される光エネルギーよりも小さく設定すれば、すなわち、InAsP層108のフォトルミネッセンス波長を半導体レーザ装置の発振波長よりも長波長側に設定すれば、InAsP層108は、活性層3から放出される光を吸収する吸収層として機能する。このため、利得の周期的変動が生じて、利得結合型のDFBレーザが作製できる。

【0142】

【発明の効果】以上に説明したように、本発明の半導体レーザ装置は、非常に簡単な構成にあるにもかかわらず、放射角が非常に狭く、低しきい値電流で高い光出力を発生することが可能である。

【0143】また、本発明の半導体レーザ装置の製造方法を用いることにより、上記特徴を有する本発明の半導体レーザ装置を、制御性良く作製することが可能である。

【図面の簡単な説明】

【図1】図1(a)は、従来技術による半導体レーザ装置の構成の一例を示す斜視図であり、図1(b)～(e)は、図1(a)の構成におけるテーパ領域の長さと特性との関係を説明する図である。

【図2】図2(a)～(c)は、本発明の第1の実施形態における半導体レーザ装置の構成を示す断面図及び上面からみた透視図であり、図2(d)は、本発明の第1の実施形態における半導体レーザ装置の改変された構成を示す上面からみた透視図である。

【図3】図3(a)～(c)は、本発明の第1の実施形態の半導体レーザ装置における、活性層の異なる幅に対する光強度分布の広がり(スポット径)の計算結果を示す図である。

【図4】図4は、本発明の第1の実施形態の半導体レーザ装置における、活性層の幅に対する垂直方向の放射角の計算結果を示す図である。

【図5】図5は、本発明の第1の実施形態の半導体レーザ装置における、電流-光出力特性の測定結果の一例を示す図である。

【図6】図6(a)及び(b)は、本発明の第1の実施形態の半導体レーザ装置における、遠視野像の測定結果の一例

を示す図である。

【図7】図7は、本発明の第1の実施形態の半導体レーザ装置における、しきい値電流の測定結果の一例を示す図である。

【図8】図8(a)及び(b)は、本発明の第1の実施形態の半導体レーザ装置における、遠視野像の測定結果の他の一例を示す図である。

【図9】図9(a)～(d)は、本発明の半導体レーザ装置の製造方法を説明する断面図及び上面からみた透視図である。

【図10】図10(a)～(c)は、本発明の第2の実施形態における半導体レーザ装置の構成を示す断面図及び上面からみた透視図である。

【図11】図11(a)及び(b)は、本発明の第2の実施形態の効果を説明するために遠視野像の特性を示す図である。

【図12】図12は、本発明の第2の実施形態の効果を説明するために遠視野像の特性を示す他の図である。

【図13】図13(a)～(c)は、本発明の第3の実施形態における半導体レーザ装置の構成を示す断面図及び上面からみた透視図である。

【図14】図14(a)～(c)は、本発明の第4の実施形態における半導体レーザ装置の構成を示す断面図及び上面からみた透視図であり、図14(d)は、その部分拡大図である。

【図15】図15(a)は、比較例としての半導体レーザ装置の構成を模式的に示す図であり、図15(b)～(d)は、図15(a)の構成における発振モード特性を示す図である。

【図16】図16(a)は、本発明の第4の実施形態における半導体レーザ装置の構成を模式的に示す図であり、図16(b)は、本発明の第4の実施形態の効果を説明するために図16(a)の構成における発振モード特性を示す図である。

【図17】図17(a)～(c)は、本発明の第5の実施形態における半導体レーザ装置の構成を示す断面図及び上面からみた透視図であり、図17(d)は、本発明の第5の実施形態における半導体レーザ装置の改変された構成を示す上面からみた透視図である。

【図18】図18(a)～(c)は、本発明の第6の実施形態における半導体レーザ装置の構成を示す断面図及び上面からみた透視図である。

【図19】図19は、本発明の第6の実施形態の効果を説明するためにその構成における発振モード特性を示す図である。

【図20】図20(a)～(c)は、本発明の第7の実施形態における半導体レーザ装置の構成を示す断面図及び上面からみた透視図である。

【図21】図21は、本発明の第8の実施形態における半導体レーザ装置の構成を示す断面図である。

【図22】図22(a)～(c)は、本発明の第8の実施形態の効果を説明するために、共振器内部での光強度分布或いはキャリア密度分布を示す図である。

【図23】図23は、本発明の第9の実施形態における半導体レーザ装置の構成を示す断面図である。

【図24】図24は、本発明の第10の実施形態における半導体レーザ装置の構成を示す断面図である。

【図25】図25(a)及び(b)は、本発明の第10の実施形態の効果を説明するために、共振器内部での光強度分布を示す図である。

【図26】図26(a)及び(b)は、本発明の第11の実施形態における半導体レーザ装置の構成を示す断面図及び上面からみた透視図である。

【図27】図27は、本発明の第11の実施形態の効果を説明するために、InAsP層におけるAsの組成比とバンドギャップエネルギー波長との関係を示す図である。

【図28】図28は、InAsP層におけるAsの組成比をパラメータとして、光波長に対する屈折率特性を示す図である。

【図29】図29(a)は、本発明の第11の実施形態の半導体レーザ装置における共振器内部での回折格子(InAsP層)の形状を示す断面図であり、図29(b)及び(c)は、本発明の第11の実施形態の効果を説明するために、本発明の第11の実施形態の半導体レーザ装置における共振器内部での実効屈折率分布及び利得分布を示す図である。

【図30】図30(a)及び(b)は、本発明の第12の実施形態における半導体レーザ装置の構成を示す断面図及び上面からみた透視図である。

【図31】図31(a)は、本発明の第12の実施形態における半導体レーザ装置の構成を模式的に示す図であり、図31(b)～(f)は、本発明の第12の実施形態の効果を説明するために共振器内部での実効屈折率、回折格子のピッチ、或いはブレグ波長の分布を示す図である。

【図32】図32(a)及び(b)は、本発明の第13の実施形態における半導体レーザ装置の構成を示す断面図及び

上面からみた透視図である。

【図33】図33(a)及び(b)は、本発明の第14の実施形態における半導体レーザ装置の構成を示す断面図及び上面からみた透視図である。

【図34】図34(a)は、本発明による光通信システムの構成を模式的に示す図であり、図34(b)は、従来技術による光通信システムの構成を模式的に示す図である。

【図35】図35(a)～(e)は、本発明の第11の実施形態における半導体レーザ装置の製造方法を説明する斜視図である。

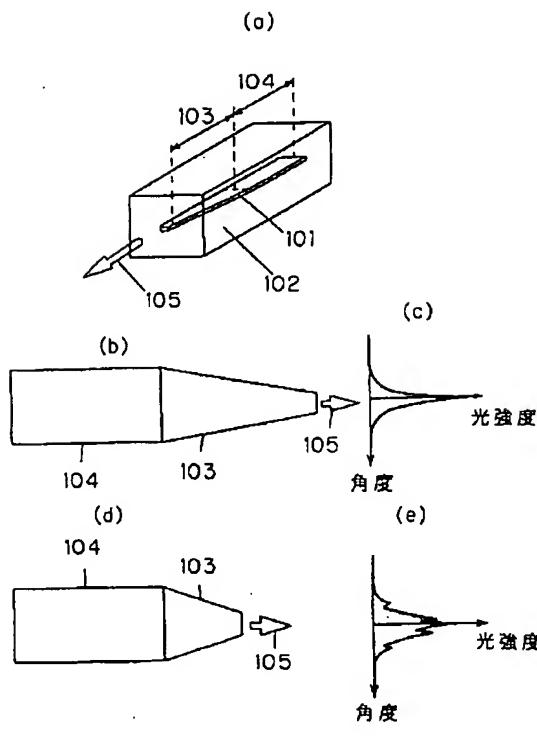
【図36】図36(a)～(c)は、本発明の第11の実施形態における半導体レーザ装置の製造方法の一部工程をさらに詳細に説明する断面図である。

【図37】図37は、本発明の第11の実施形態における半導体レーザ装置の製造方法における、アルシン(AsH₃)の流量とフォトルミネッセンス波長との関係を示す図である。

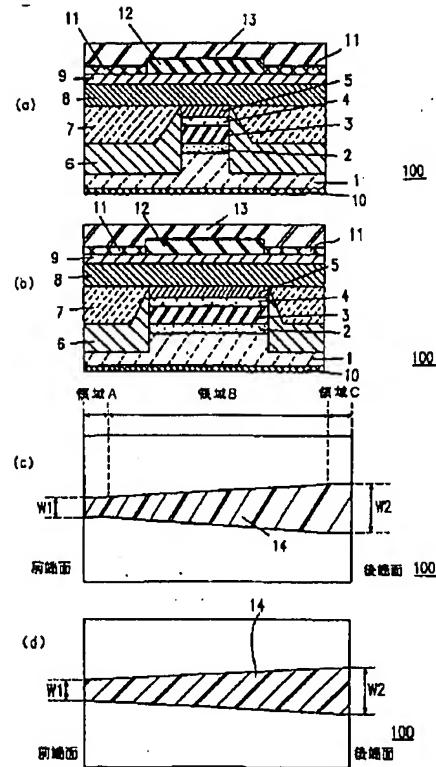
【符号の説明】

- 1 n型InP基板
- 2 n型InGaAsP光閉じ込め層
- 3 多重量子井戸活性層
- 4 p型InGaAsP光閉じ込め層
- 5 p型InPクラッド層
- 6 p型InP電流ブロック層
- 7 n型InP電流ブロック層
- 8 p型InP埋め込み層
- 9 p型InGaAsPコンタクト層
- 10 n側電極
- 11 SiO₂絶縁膜
- 12 p側電極
- 13 p側電極
- 14 ストライプ
- 17 ストライプ幅方向の広がり角度(θ)
- W1 領域Aにおけるストライプ幅
- W2 領域Cにおけるストライプ幅
- 200 半導体レーザ装置

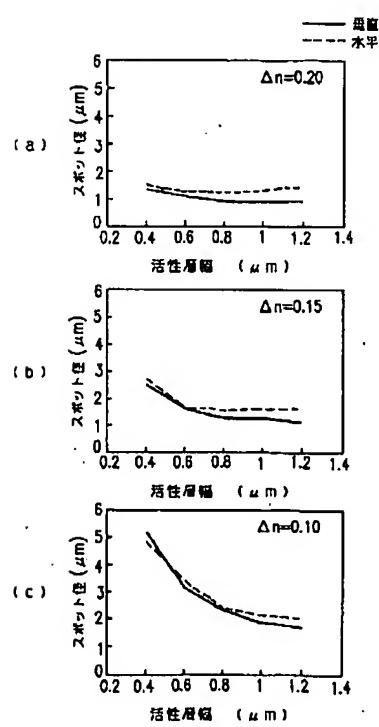
【図1】



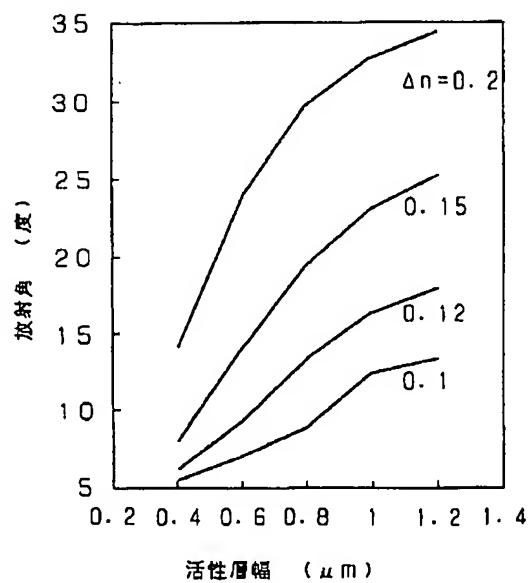
【図2】



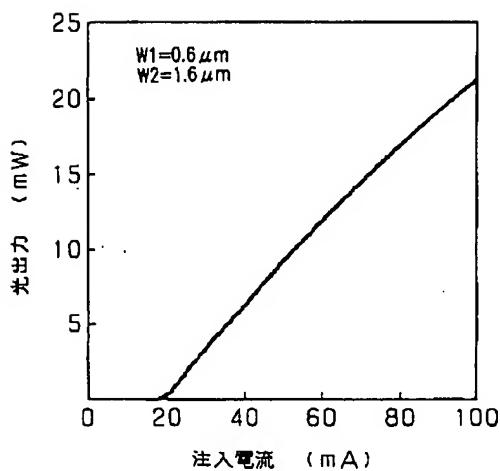
【図3】



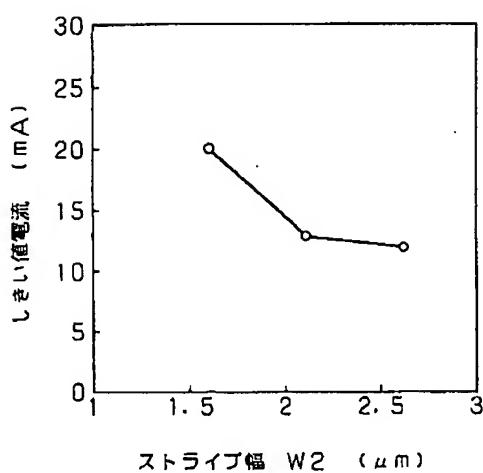
【図4】



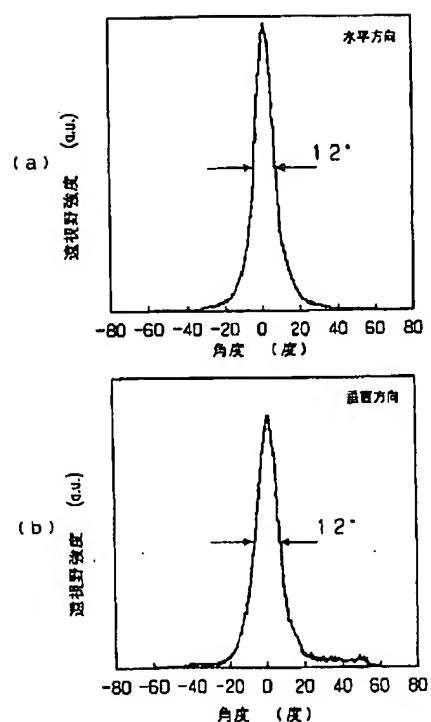
【図5】



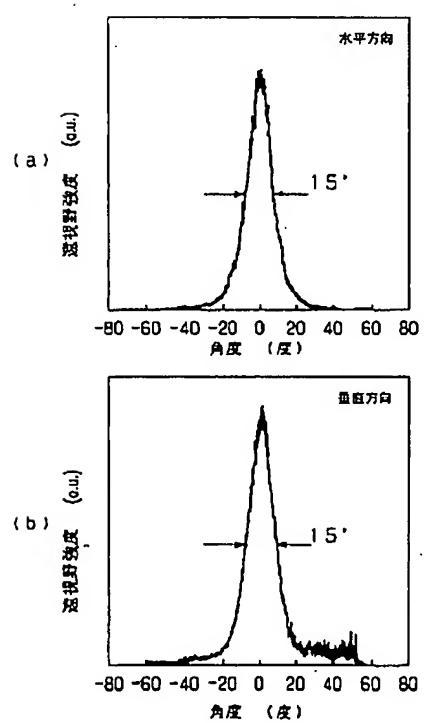
【図7】



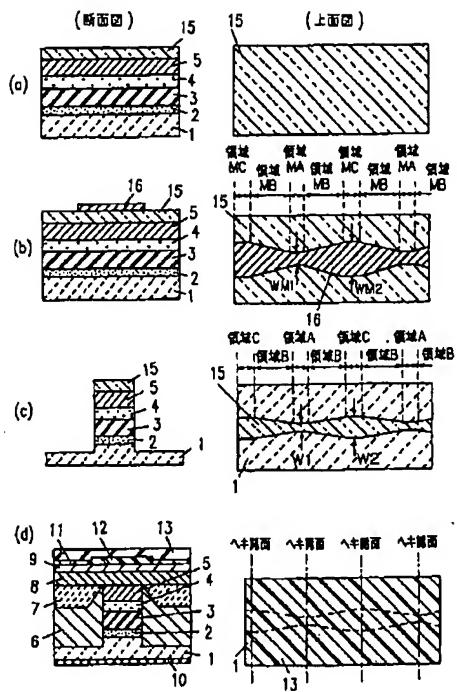
【図6】



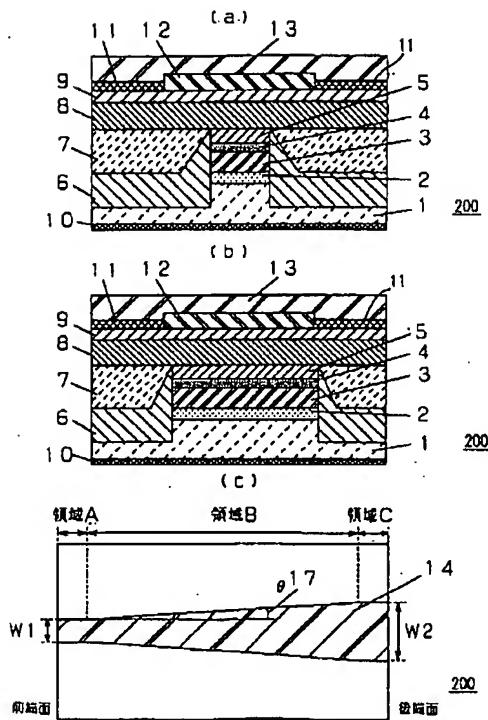
【図8】



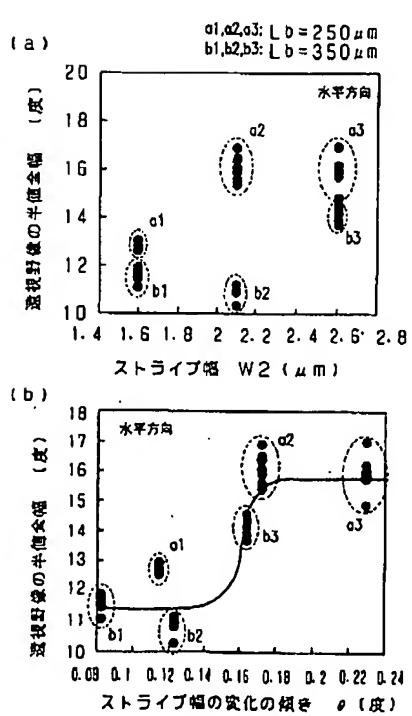
【図9】



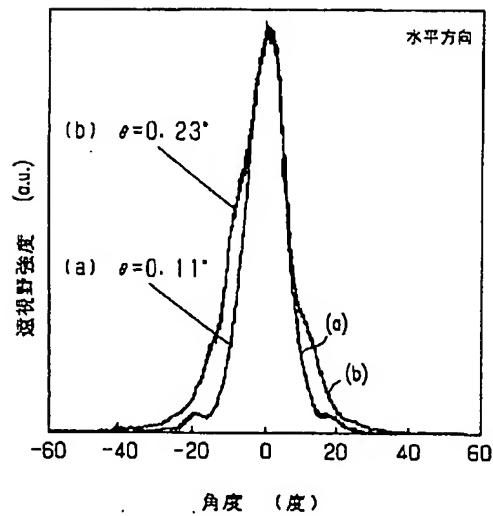
【図10】



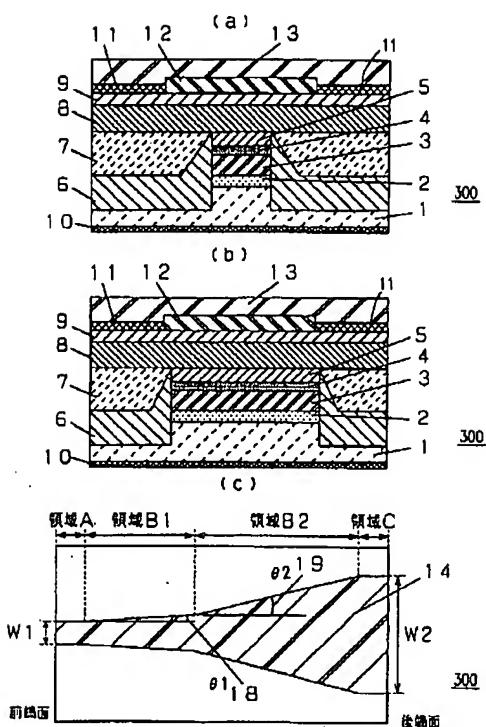
【図11】



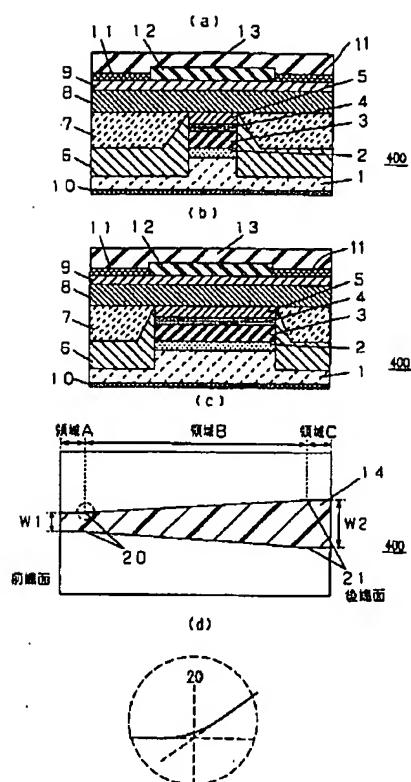
【図12】



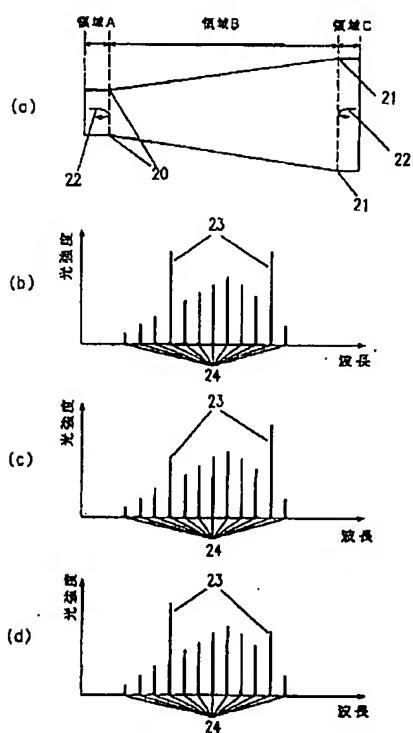
【図13】



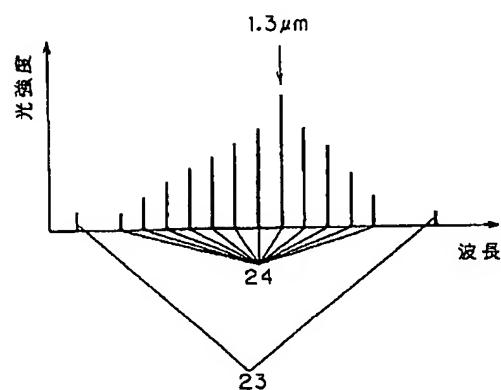
【図14】



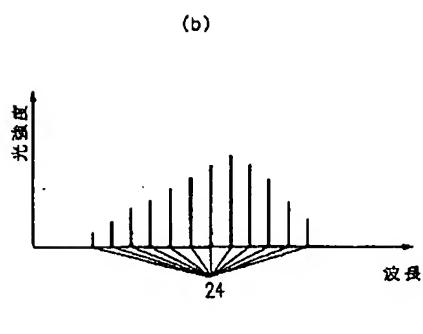
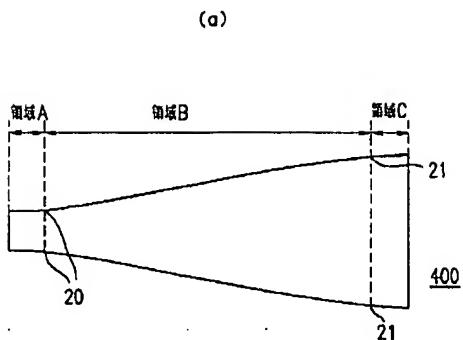
【図15】



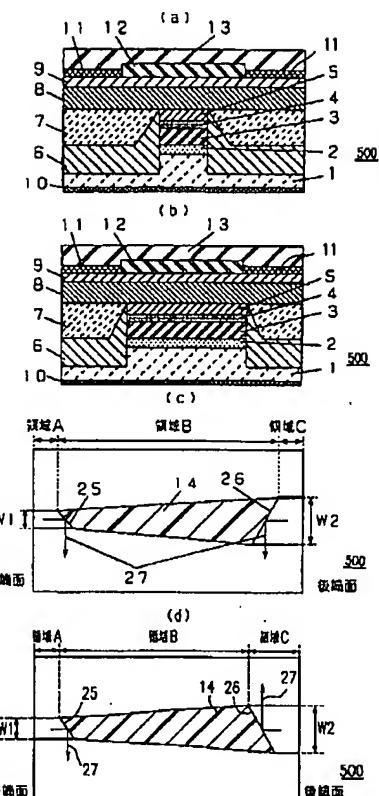
【図19】



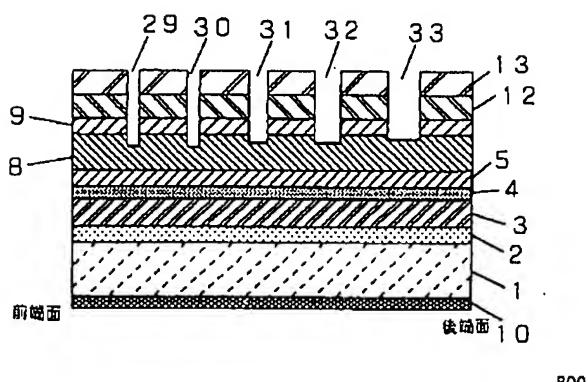
【図16】



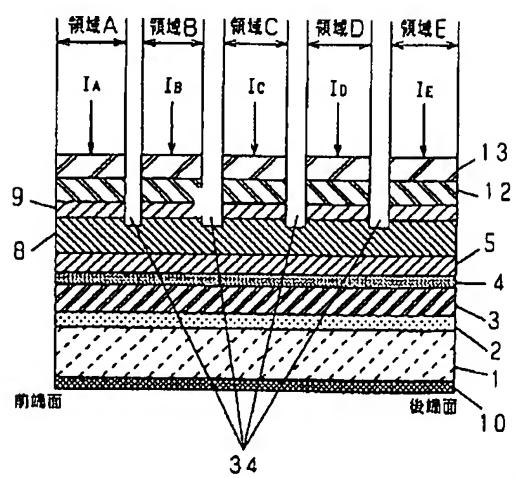
【図17】



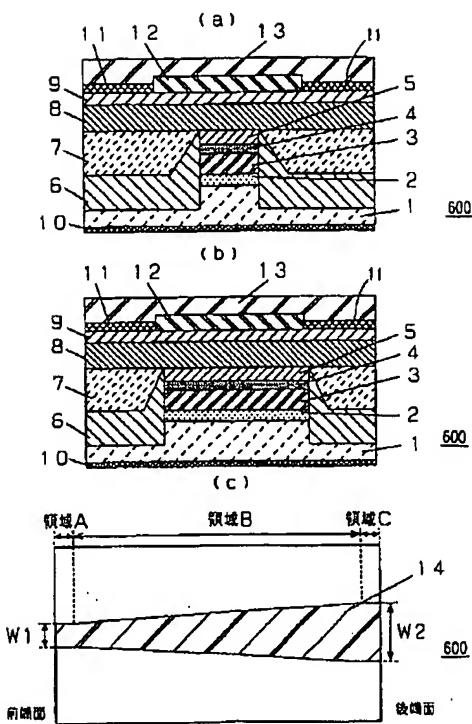
【図21】



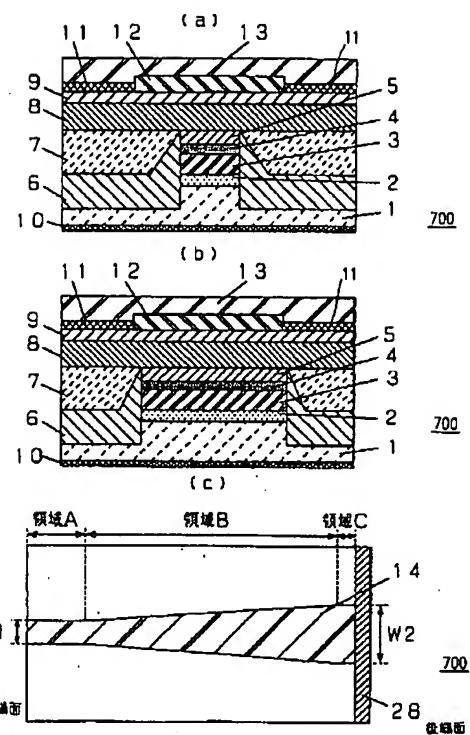
【図23】



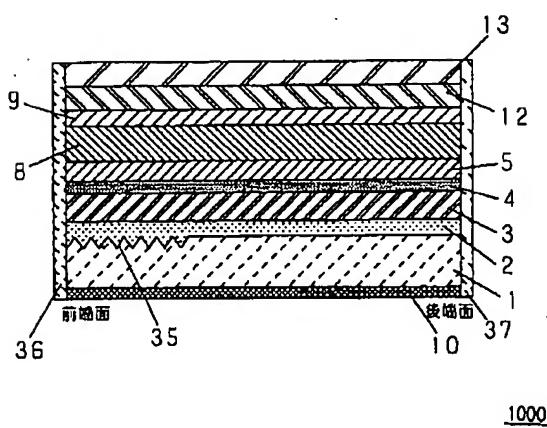
【図18】



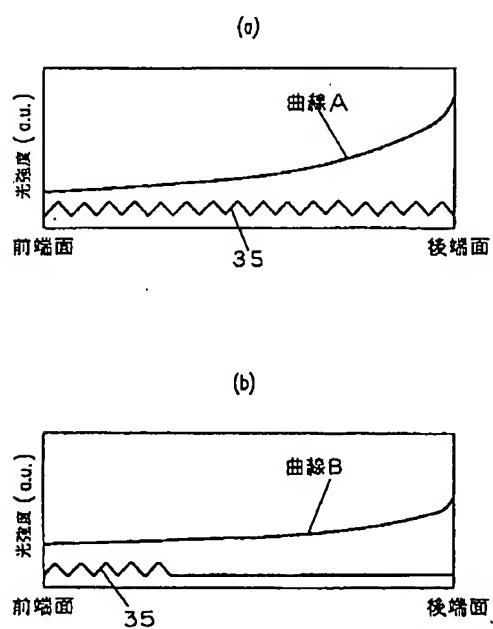
【図20】



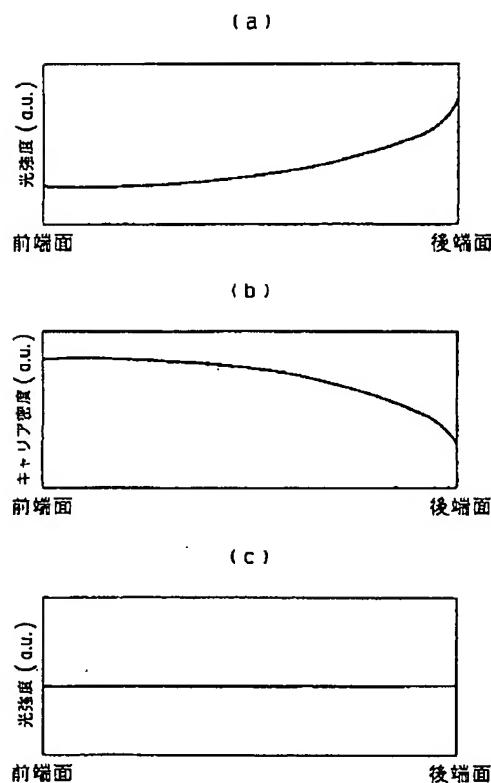
【図24】



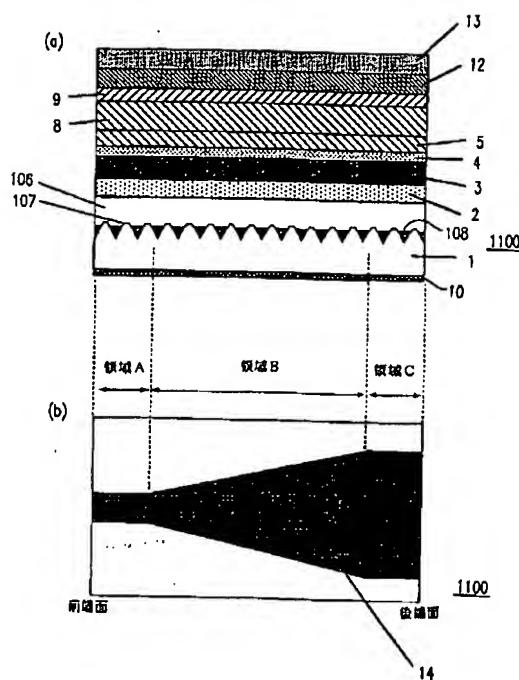
【図25】



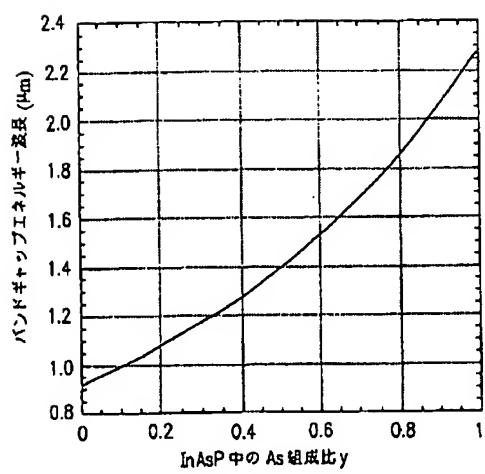
【図22】



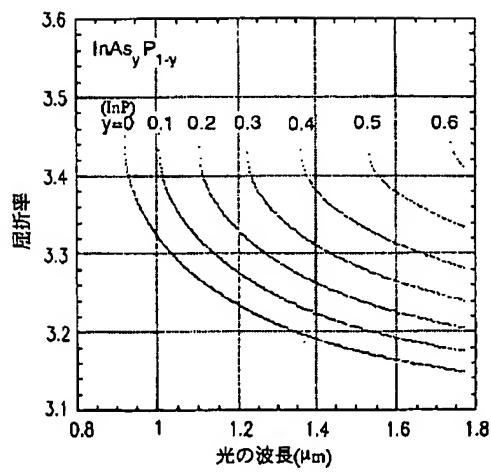
【図26】



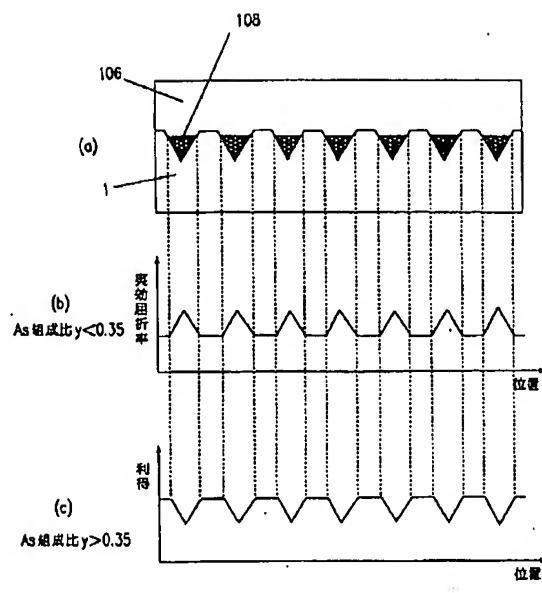
【図27】



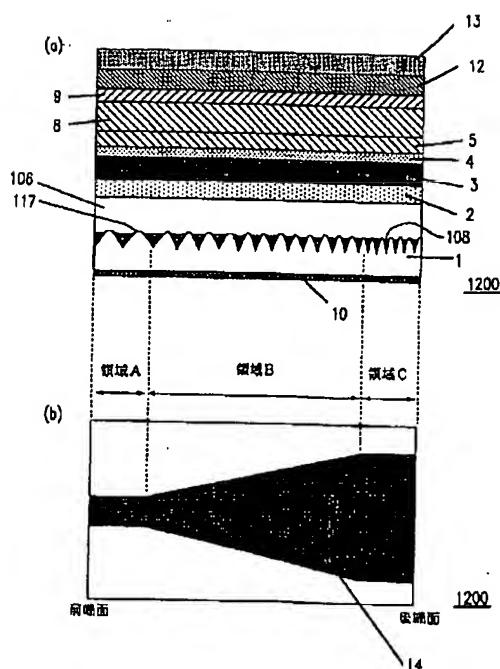
【図28】



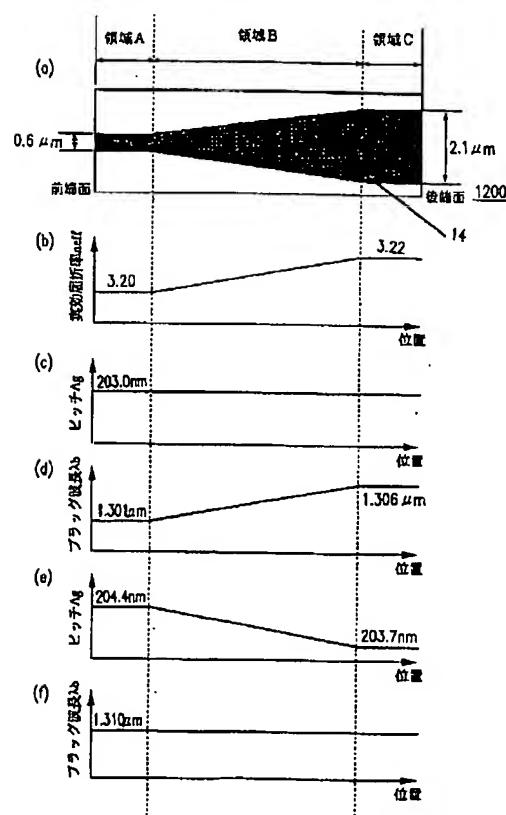
【図29】



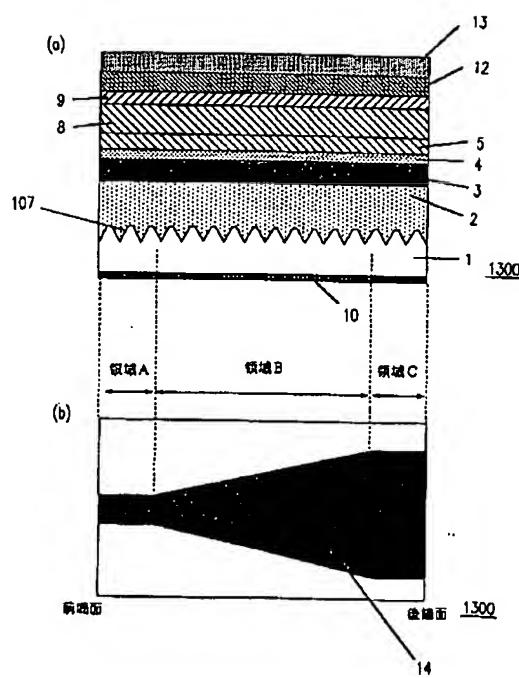
【図30】



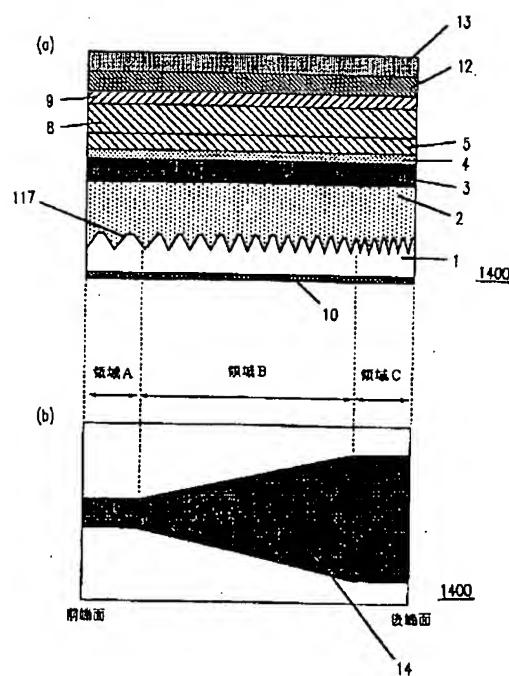
【図31】



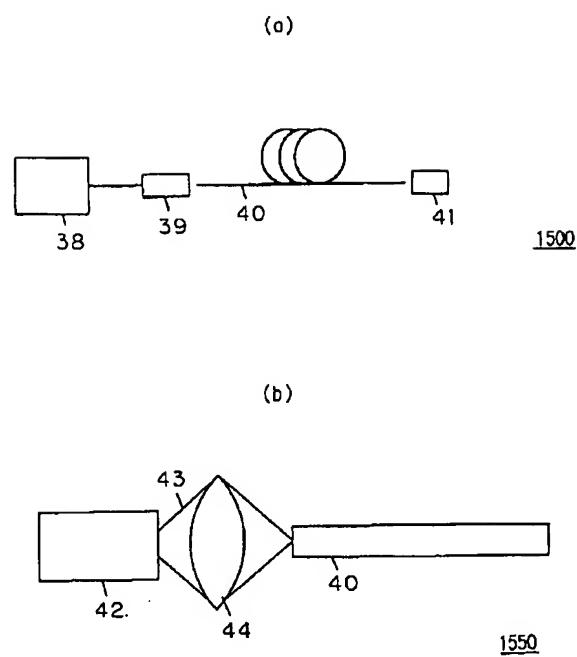
【図32】



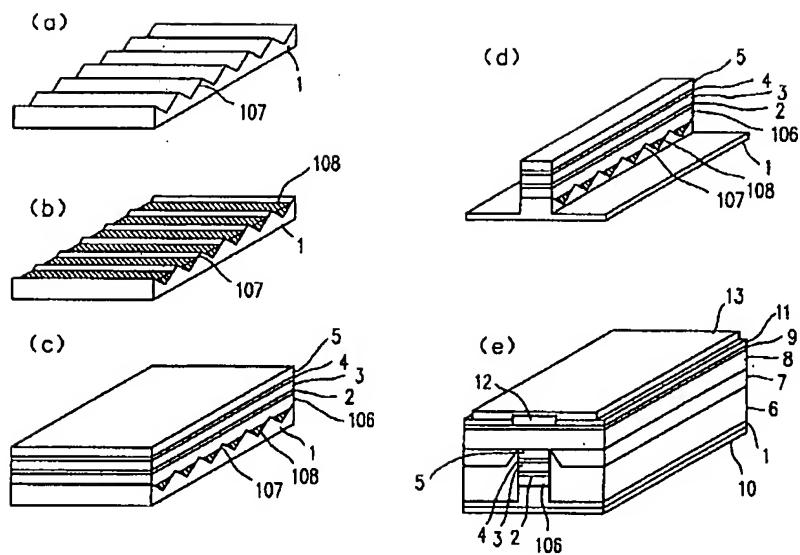
【図33】



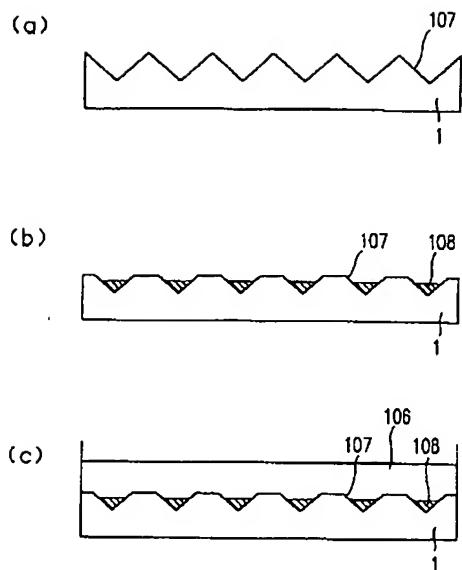
【図34】



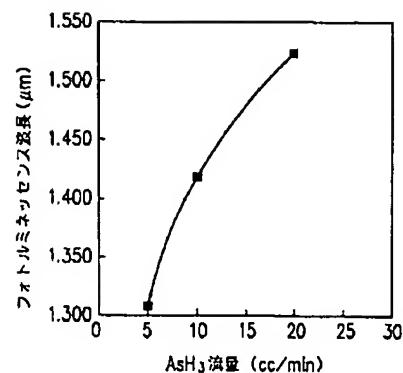
【図35】



【図36】



【図37】



フロントページの続き

(72)発明者 松井 康

大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器
産業株式 会社内

(72)発明者 稲葉 雄一

大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器
産業株式 会社内